

Tuija Tervämäki

# Ympäristöystävällisten toimivuuden tutkiminen

puunsuoja-aineiden

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

18.6.2018

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Tuija Tervamäki Ympäristöystävällisten puunsuoja-aineiden toimivuuden tutkiminen  38 sivua + 6 liitettä 18.6.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Materiaali- ja pinnoitetekniikka
Ohjaajat	Yliopettaja Kai Laitinen Toimitusjohtaja Janne Honkala
<p>Insinööriyössä selvitettiin ympäristöystävällisten puunsuoja-aineiden toimivuutta Suomen ilmastossa. Tutkittavia kyllästeaineita oli kahdeksan, ja niitä verrattiin käsittelemättömään puuhun ja myös keinovanhennettuun puuhun.</p> <p>Työssä tutkittavia puunsuoja-aineita olivat Pellava, Terva, Terva 2, Mänty, Mänty 2, Pihka, Pihka 2 ja Ekoteko. Suoja-aineilla käsitellyistä mäntykappaleista tutkittiin veden imeytymistä upotuksessa ja 80 %:n suhteellisessa ilmankosteudessa. Kappaleista tutkittiin myös auringon säteilyn, ilmankosteuden ja vesisateen vaikutuksia QUV-sääkaapissa. Testissä tutkittiin värimuutoksia silmämääräisesti ja mittaamalla, halkeilumuutoksia, ja kyllästeen nousua pintaan.</p> <p>Upotustestistä selvisi, että vanhennetut koepalat imivät huomattavasti enemmän vettä itseensä, kuin muut testissä olevat puut. Pellavalla kyllästetyt puut imivät vähiten vettä itseensä. Kosteustestissä käsittelemättömät koepalat olivat huomattavasti hygroskooppisempia, kuin muut. Tässäkin testissä Pellavalla käsitellyt puut olivat kaikista vähiten hygroskooppisimpia. QUV-testissä olevista kappaleista suurin kokonaisvärimuutos oli Pellavalla ja Ekotekolla verrattuna käsittelemättömiin koekappaleisiin. Muilla kappaleilla oli pienempi värieromuutos kuin käsittelemättömillä. Pahimmat halkeamat olivat käsittelemättömillä ja vanhennetuilla koekappaleilla verrattuna muihin testissä oleviin puihin. Vähiten halkeamia esiintyi kyllästeessä Ekoteko 40, jossa pohjana on käytetty keinovanhennettua puuta. Vähiten pintaan nousutta kyllästettä oli kyllästeissä Ekoteko, Ekoteko 40 ja Pellava, eniten oli kyllästeissä Pihka ja Terva 40. Tulosten perusteella kaikki kyllästetyt koekappaleet olivat parempia, kuin käsittelemättömät, mutta parhaimmat suoja-aineet olivat Ekoteko ja Pellava.</p>	
Avainsanat	kyllästemenetelmät, laho, säänkestävyys, kosteus

Author Title	Tuija Tervamäki Investigating the functionality of environmentally friendly wood preservatives
Number of Pages Date	38 pages + 6 appendices 16 June 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biological and Chemical Engineering
Professional Major	Materials Technology and Surface Engineering
Instructors	Kai Laitinen, Principal Lecturer Janne Honkala, Managing director of Aalto Haitek oy
<p>This thesis project was done on the functionality of environmentally friendly wood preservatives in the Finnish climate. There were eight impregnable substances to be tested and compared to untreated wood and also to artificially aged wood.</p> <p>This thesis studied the following wood preservatives: Flax, Tar, Tar 2, Pine, Pine 2 and Ekoteko. The test pieces were tested for absorption of water during immersion and at 80 % relative humidity. The effects of solar radiation, humidity and rain were studied in the QUV environmental chamber. The test pieces were examined visually and by measurements for colour changes, cracking, and saturation rising to the surface.</p> <p>The immersion test revealed that the aged pieces absorbed much more water than the other ones in the test. The Flax-impregnated pieces absorbed the least amount of water to themselves. In the moisture test, untreated pieces were considerably more hygroscopic than others. Even in this test, the Flax pieces were the least hygroscopic. The largest total color change in the QUV were found in Flax and Ekoteko pieces, whereas the other pieces had smaller difference in color than untreated pieces. The worst cracks were discovered in untreated and aged pieces, while the least cracks occurred in Ekoteko 40 pieces where the substrate was artificially aged wood. The least saturation on the surface was found in the Ekoteko, Ekoteko 40 and Flax pieces, whereas the most saturation occurred in the Resin and Tar 40 pieces. On the basis of the results, all the impregnated test pieces were better than the untreated ones but the best preservatives were Ekoteko and Flax.</p>	
Keywords	methods of saturation, rot, weather resistance, humidity

## Sisällys

### Käsitteet ja lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Puun ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä	2
2.1	Auringon lämpö- ja UV-säteily	2
2.2	Bakteerit	2
2.3	Homesienet	3
2.4	Sinistäjä sienet	3
2.5	Lahottajasienet	3
2.6	Tuhohyönteiset	4
2.7	Kosteus	5
3	Puun ympäristökestävyyden parantaminen	6
3.1	Levitettävät puunsuoja-aineet	6
3.2	Painekyllästämisen	7
3.2.1	Täyssolukyllästys (Bethell-menetelmä)	9
3.2.2	Säästökyllästys (Rüping-menetelmä)	9
3.2.3	Kaksoistyhjäkyllästys	9
3.3	Lämpökäsittely	11
4	Puun ympäristökestävyyden tutkimusmenetelmät	14
4.1	Kosteuskestävyys	14
4.2	Säänkestävyys	15
4.3	Lahokestävyys	19
5	Koemateriaalit	22
6	Tutkimusmenetelmät	23
6.1	Upotusrasitus	23
6.2	Kosteusrasitus	24
6.3	Säärasitus	24
7	Tulokset ja niiden tarkastelu	27
7.1	Upotusrasitus	27
7.2	Kosteusrasitus	28

7.3	Säärasitus	31
8	Johtopäätökset	35
	Lähteet	36

#### Liitteet

Liite 1. Mittaustulokset upotustestistä

Liite 2. Mittaustulokset kosteustestistä

Liite 3. Värisävymuutokset säärasituksen vaikutuksesta

Liite 4. Kuvat koepaloista referenssien kanssa, sekä ennen säärasitusta ja sen jälkeen

Liite 5. Puutavaran kosteuspitoisuus

Liite 6. Halkeilujen arviointi SFS-EN ISO 4628-4

## Käsitteet ja lyhenteet

Hemiselluloosa	Tarkoittaa puun tärkeää ainesosaa, selluloosan ja ligniinin lisäksi. Hemiselluloosa on yleensä väliaineena puussa.
Hygroσκοoppisuus	Tarkoittaa huokoisen aineen kykyä imeä kosteutta ilmasta.
Puun modifiointi	Tarkoittaa kemiallisen rakenteen muuttamista puussa.
RH	Tarkoittaa suhteellista ilmankosteutta.

## 1 Johdanto

Tässä insinöörityössä tutkitaan, miten ulko-olosuhteet vaikuttavat ympäristöystävällisillä puunsuoja-aineilla kyllästettyihin puihin. Tarkoitus olisi saada tietoa, onko luonnon aineilla kyllästetty puu parempi, kuin käsittelemätön puu, sekä mikä puunsuoja-aine on parhain.

Työn tilaajana toimii Aalto Haitek Oy, joka rakentaa ympäristöystävällisesti. Yritys ei käytä ollenkaan liimaa rakentaessaan, jolloin puut kiinnitetään vain kierretangoilla toisiinsa. Maalit ovat jo ympäristöystävällisiä, kyllästeet tulevat olemaan myös ympäristöystävällisiä. Yrityksen tekemällä puulla on aaltomainen rakenne, joka takaa sille paremman mekaanisen kestävyuden, kuin suoralle puulle. Aalto Haitek Oy:llä on oma kyllästystekniikka, jossa käytetään kyllästeenä vain ympäristöystävällisiä tuotteita. Yritys myös vanhentaa puun omalla tekniikalla. Opinnäytetyössä ei käydä näitä tekniikoita läpi, eikä myöskään kerrota kyllästeistä muuta kuin tuotteiden nimet. Tuotantoa on tällä hetkellä vain Toholammilla.

Kokeet tehdään Metropolian laboratoriossa, sillä siellä on tarvittavat laitteet kokeita varten ja näin ollen saadaan nopeammin tietoa ja tuloksia materiaaleista. Kokeita joita laboratoriossa tehdään, on upotusrasituskoee, kosteuskoe sekä, säärasituskoee. Myös lahotuskoe oli tarkoitus tehdä, mutta aika ei riittänyt siihen, sillä koekappaleiden pitäisi olla useamman kuukauden koestuksessa.

## 2 Puun ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä

### 2.1 Auringon lämpö- ja UV-säteily

Aurinko aiheuttaa puunpinnalle vahinkoa, sillä siitä suuntautuu energiaa kahdessa muodossa: lämpönä ja valona. Lämpö aiheuttaa pinnan kuivumishalkeilua ja valo aiheuttaa foto-oksidaation eli valorapautumisen. Foto-oksidaatio on nopeampaa, jos pinta ei ole suojattu sateelta, sillä vesi nopeuttaa prosessia. Tummempi puu imee paremmin auringon lämpösäteilyn, ja tällöin siinä on myös pahemmat halkeamat, jolloin sadevesi pääsee helpommin puun sisään. [1, s. 73.]

Uv-säteily on pahin auringosta aiheutuva säteily, mikä aiheuttaa puupinnoilla nopeaa vanhenemista. Ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta puun pintakerros harmaantuu, nukkaantuu ja hajoaa nopeasti. Riippuen puulajista puu kellastuu, harmaantuu, vaalenee tai tummenee. [2.]

### 2.2 Bakteerit

Bakteerit heikentävät puussa olevien solujen huokoskalvojen rakennetta, jolloin läpäisevyys lisääntyy puussa. Vesivarastoinnin aikana puusta huuhtoutuu pois ainesosia, minkä takia herkkyys kosteusmuutoksille vähenee puussa. Bakteerit heikentävät hitaasti puun lujuutta maakosketuksessa olevassa puutavarassa. [1, s. 74.]

Bakteereja esiintyy lähes joka paikassa, sillä ne voivat kestää yli +70 °C:n lämpötiloja, ja hapettomat olosuhteet eivät niitä haittaa. Varsinkin itiömuodossa bakteerit kestävät hyvin kuivuutta, lämpöä ja voimakkaita kemiallisia aineita. [1, s. 74.]



### 2.3 Homesienet

Homesienet aiheuttavat puulle värivikaa, mutteivat vaikuta normaalisti puun rakeenteellisiin ominaisuuksiin. Homesieniä kasvaa 0...+55 °C:n lämpötiloissa, mutta suotuisin lämpötila on kuitenkin +30–35 °C, puun kosteuspitoisuuden tulisi olla 20–150 %. Kuitenkin materiaalin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus (75–95 %) on tärkeämpi homesienten kasvun kannalta. Homeet kehittyvät materiaaleissa nopeammin, kun kosteus ja lämpötila ovat korkealla useamman vuorokauden, viikon tai kuukauden. [1, s. 74–75.]

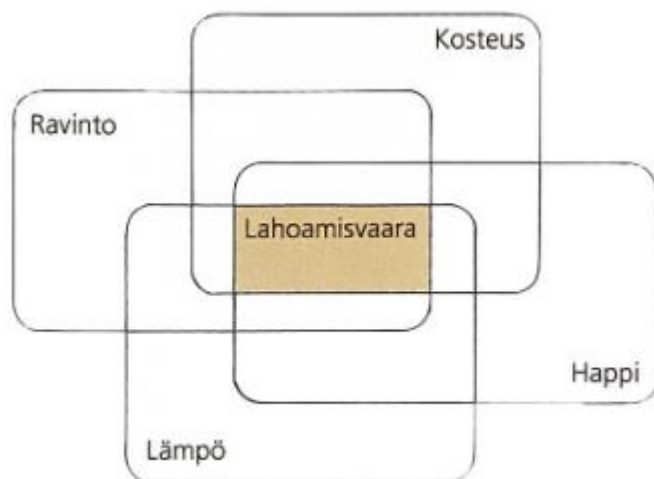
### 2.4 Sinistäjä sienet

Sinistäjä sienet vahingoittavat erittäin vähän puun pintasoluja. Sienten suurin haitta on niiden aiheuttama värjäytyminen puussa, vaikka osa sienistä saattaa aiheuttaa katkolahoa. Sienirihmat ja -rihmastot värjäävät puun ruskeaksi, siniseksi tai mustaksi. Myös puussa esiintyvä harmaa väri on sinistäjä sienien aiheuttama, sienikasvusto suojaa puuta tällöin ulkoisilta rasituksilta. [1, s. 75–76.]

Sinistäjä sienille edulliset olot ovat, kun puun kosteus on 30–120 %, kasvuun tarvittava lämpötila tulee olla -3...+40 °C, mutta ihanteellinen lämpötila on kuitenkin +22–28 °C [1, s. 75–76].

### 2.5 Lahottajasienet

Laho on pehmentynyttä, heikentynyttä ja tummunutta puuainesta, jota lahottajasienet ovat saaneet aikaan puussa. Sitä esiintyy puussa joko kovana tai pehmeänä. Pehmenneessä lahossa lahoaminen on edennyt pitemmälle kuin kovassa lahossa. Lahottajasienivaara on olemassa vain, kun kuvan 1 tekijät vaikuttavat yhtä aikaa. Jos yksikään vaikutus muuttuu tarpeeksi, niin vaara häviää. [1, s. 74–76.]



Kuva 1. Lahoamisvaaraa aiheuttavat tekijät [1, s. 74].

Lahottajasienelle edulliset olot ovat silloin, kun lämpötila on  $+5\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja puun kosteus pysyy riittävän pitkään  $20\text{--}60\text{ }\%$ :ssa. Lahottajasienet lahottavat puun pääasiallisia rakennusosia, kuten selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä, ja tällöin ne muuttavat myös puun ominaisuuksia. [1, s. 74–76.]

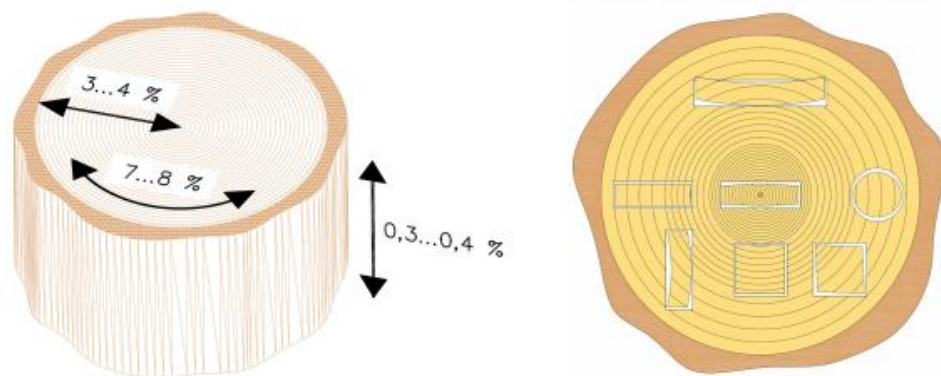
Sienet jaetaan kolmeen lajiin, ruskolaho, valkolaho ja katkolaho. Eri lajit vaikuttavat eritavalla puun soluihin. Ruskolahossa sienirihmastot kasvavat puusolujen onteloissa ja puun pinnalla, rihmastot erittävät onteloissa entsyymejä. Ne hajottavat selluloosamolekyylejä, jolloin ne saattavat huuhtoutua pois, ja jäljelle jää vain ligniini. Valkolahossa sienirihmastot kasvavat puusolujen huokosissa, rihmastot hajottavat puun hemiselluloosaa, selluloosaa ja ligniinejä entsyymeillään. Katkolahossa sienirihmastot kasvavat puusolujen sisäseinämissä, jolloin muutokset soluseinämissä muistuttavat bakteerien aiheuttamia muutoksia. [1, s.74–82]

## 2.6 Tuhohyönteiset

Hyönteiset vaurioittavat puuta merkittävämmiin, kuin lahottajasienet. Suomessa kuitenkin hyönteisten aiheuttamat vauriot ovat toissijaisia, sillä hyönteiset vioittavat jo lahovikaista puuta. Tuhohyönteiset viihtyvät lahovikaisessa ja kosteassa puussa, jolloin suurimmat vauriot aiheutuvat, kun toukat kaivavat ja syövät puuta. [1, s. 82.]

## 2.7 Kosteus

Puu on vettä imevä aine eli hygroskooppinen materiaali, joten tällöin puu pystyy sitomaan ja luovuttamaan kosteutta, koska se pyrkii samaan tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Kosteus vaihteluiden takia puu turpoaa tai kutistuu ja muuttaa muotoaan (kuva 2). Puun pitkittäinen kosteuseläminen on pientä, verrattuna poikittaissuuntaiseen kosteuselämiseen. [3; 4.]



Kuva 2. Kutistumisprosentti puun kuivuessa absoluuttisen kuivaksi 30 %:n kosteuspitoisuudesta, sekä kuivumisen vaikutus sahatavarakappaleen muotoon [4].

Syiden kyllästymispisteeksi kutsutaan kosteustilaa, jossa soluseinämät sisältävät vettä, mutta soluontelot ovat tyhjä. Soluontelon ollessa tyhjä vapaasta vedestä alkaa solu-seimissä oleva vesi poistua, jolloin puu kutistuu. Puun kutistuminen aiheuttaa muodonmuutoksia, minkä takia puuhun tulee sisäisiä jännityksiä. Näiden jännitysten seurauksena puuhun tulee halkeamia, ja sahatavarakappaleihin aiheutuu kiertymistä. [3; 4.]

Puun kosteuden pysyessä kauan yli 20 %:ssa alkaa puu vaurioitua. Ilman suhteellisen kosteuden pysyessä muutaman kuukauden yli 80 %:ssa puu alkaa homehtua. Puu alkaa lahota, kun ilman suhteellinen kosteus ylittää 90 %. Lämpötilan tulee kuitenkin olla 0...+40 °C, jotta home ja laho etenee. [3.]

Puu on turvassa homeilta, lahottajasieniltä ja muilta biologisilta tuholaisilta, kun kosteuspitoisuus puussa on alle 20 %. Kuivan puun jäykkyys- ja lujuusominaisuudet ovat

paremmat kuin märällä puulla. Kuivassa puussa soluseinämät liikkuvat lähemmäksi toisia ja kiinnittyvät keskenään, siksi lujuusominaisuudet ovat paremmat kuivassa puussa. [4.]

Kuusi ja mänty ovat samankaltaisia lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiltaan, mutta kosteuskäyttäytymisellä on eroja. Mänty reagoi nopeammin kosteuden vaihteluihin kuin kuusi. Tämä johtuu siitä, että männyllä pintapuun soluseinämien huokosten läpät jäävät auki asentoon puun kuivuessa, kun taas kuusella kokonaan kiinni-asentoon. Nämä ominaisuudet vaikuttavat myös siihen, että kuusta on vaikeampi painekyllästä. Männyssäkään kyllästeaine ei tunkeudu kuin vain pintapuuhun, sillä sydänpuussa olevat huokosten läpät ovat täynnä pihkaa. [4.]

### **3 Puun ympäristökestävyyden parantaminen**

Puu on erinomainen materiaali moniin tarkoituksiin sellaisenaan. Se ei kuitenkaan ole aina riittävä, siksi sitä joudutaan käsittelemään ennen käyttöä.

Puun modifiointi tarkoittaa kemiallisen rakenteen muuttamista, ja modifioitu puu on aina pystyttävä luokittelemaan käsittelyn jälkeen luonnonmukaiseksi puumateriaaliksi [5]. Modifioinnilla pyritään parantamaan puun heikkouksia, kuten hygroskooppisuutta, turpoamista, huonoa lahonkestoa, kulutuskestävyyttä ja syttymisherkkyyttä [6, s. 83].

#### **3.1 Levitettävät puunsuoja-aineet**

Puunsuoja-aineet ovat väriltään värittömiä, vihreitä tai ruskeita, ja niitä on läpikuultavia, puolipeittäviä ja peittäviä. Peittävät suoja-aineet eivät kuitenkaan ole täysin peittäviä toisin kuin täysin peittävät maalit, sillä puun pintakuviointi jää näkyviin. Kuultavilla aineilla maalatut vaaleat puupinnat tummuvat lyhyessä ajassa, ja useimmat läpäisevät hyvin vesihöyryä ja kosteutta. Suoja-aineissa on huomattavasti vähemmän pigmenttejä ja sideaineita, kuin peittävässä maalissa. Tällöin ne eivät suojaa hyvin puuta auringonvalolta, joten eivät sovellu lopulliseen pintakäsittelyyn. Puunsuoja-aineet sisältävät aineita (fungisideja), jotka hidastavat lahottaja-, sinistäjäsiemien ja homeitiöiden kasvua puussa. [1, s. 207–208.]

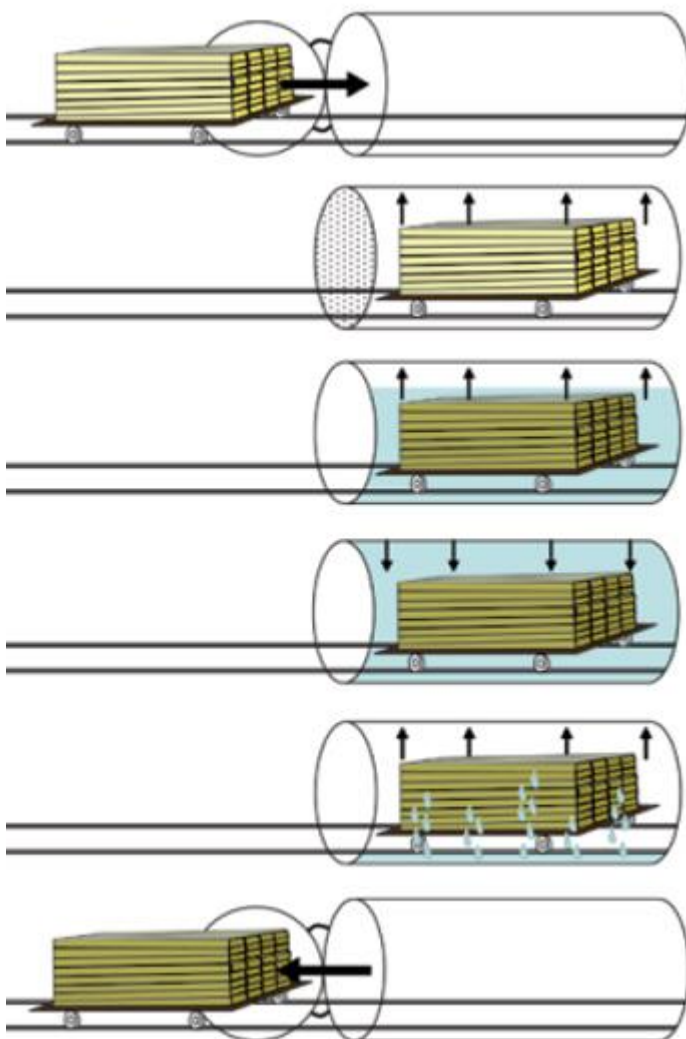
Siveltävien puunsuoja-aineiden suojausteho on vähäinen, sillä ne tunkeutuvat pinta-puuhun vain 1–2 mm. Säänkestäviä puunsuoja-aineita on liuotinhenteisiä, sekä vesiohenteisiä tuotteita, jotka sisältävät tehoaineen lisäksi enemmän säänkestäviä pigmenttejä ja puuhun tunkeutuvia sideaineita. Tehoaineena näissä käytetään orgaanisia myrkkijä, muuten koostumus vaihtelee. Vesiohenteisten puunsuoja-aineiden sideaineena on useimmiten polymeerin ja hartsin seos tai veteen dispergoitu öljy ja alkydihartsi. Liuotinhenteisten puunsuoja-aineiden sideaineena on yleensä maaliöljy, pellavaöljy ja alkydihartsi. Vesiohenteiset imeytyvät huonommin puuhun, kuin liuotinhenteiset puunsuoja-aineet. [1, s. 208–209.]

Levitettäviin puunsuoja-aineisiin kuuluu myös perinteiset puunsuojausmuodot kuten punamultamaali, puuterva ja pellavaöljy. Kenttäkokeet ovat osoittaneet, että tehokkain puunsuojaus lahoa vastaan saatiin vain puutervalla ja sekin pitää uusia kolmen vuoden välein. [1. s, 86.]

### 3.2 Paineekyllästämisen

Puun painekyllästyksessä pyritään korvaamaan soluseinämän vesi kyllästysliuoksella, joka saadaan puun sisälle tyhjiön ja ylipaineen vuorottelulla [7].

Painekäsittelyprosessin (Kuva 3) ensimmäisessä vaiheessa käsittelemätön puu sijoitetaan sylinteriin, jonka jälkeen alipaine vetää ilman ulos puusta. Tämän jälkeen puu upotetaan liuokseen vielä kun sylinteri on alipaineessa, jolloin myös sylinterin painetta nostetaan, jotta saadaan kylläste puuhun. Kylläste pumpataan pois ja lopullinen tyhjiö vetää ylimääräisen kyllästeen pois puusta. Lopuksi ylimääräinen kylläste pumpataan pois, ja puu poistetaan sylinteristä [8].



Kuva 3. Painekeyllästys [8]

Painekeyllästäminen on parhain tapa hidastaa biologista tuhoutumista puussa, sillä ilman keyllästystä puu altistuu sinistymiselle, homeelle ja lahoamiselle. Suomalainen painekeyllästetty puu suojataan kuparisuoloilla ja orgaanisilla tehoaineilla. Paineen avulla keyllästysaineet saadaan pintapuun läpi, muttei ihan sydänpuuhun asti. [9].

Kyllästettyä puuta käytetään säälle ja kosteudelle alttiina olevissa rakenteissa, kun halutaan rakenteille pitkä käyttöikä ja turvallisuus. Kyllästetyn puun käyttöikä on vähintään 3–5 kertaa pidempi, kuin keyllästämättömän puun, tällöin keyllästetty puu kestää käytössä useita kymmeniä vuosia. [9].

Suolakeyllästeillä keyllästetty puutavara on väriltään ruskea tai vaaleanvihreä ja se on hajuton. Kyllästetty puu harmaantuu ulkokäytössä, jos sitä ei pintakäsittele. Puutavara,

joka on kyllästetty kreosoottiöljyllä, on väriltään tumman ruskea, ja sen hajun voimakkuus vaihtelee öljyalaadun mukaan. Öljypohjaisilla kyllästetty puu on väritön, mutta voidaan sävyttää eri värejä, ja haju vähenee liuotinaineen haihtuessa puusta. [1, s. 89.]

Painekyllästetty puu on yleensä vaarallista jätettä, jolloin sitä ei saa polttaa kotitalouksissa, sillä poltossa saattaa muodostua myrkyllisiä yhdisteitä. [10; 11].

### 3.2.1 Täyssolukyllästys (Bethell-menetelmä)

Täyssolukyllästys on suolakyllästys, jossa saadaan puuhun mahdollisimman suuri kyllästysaineen tunkeutuma. Prosessissa puu suljetaan painetta kestävässä säiliöön, josta poistetaan ilma alkutyhjiöllä (0,85 bar), joka kestää 45 min. Tämän jälkeen säiliöön laitetaan kyläste (+20 °C), jolloin kyläste imeytyy puuhun paineen (1,2–1,6 MPa) vaikutuksesta 120–180 minuutin ajan. Lopussa kyläste poistetaan säiliöstä, jonka jälkeen sinne imetään lopputyhjiö (0,85 bar), jota pidetään yllä 30 minuuttia, jolloin puusta poistuu ylimääräinen kyläste. Prosessia jatketaan niin kauan, kunnes puu ei enää ota kyllästettä vastaan. [1, s. 88; 12, s. 85.]

### 3.2.2 Säästökyllästys (Rüping-menetelmä)

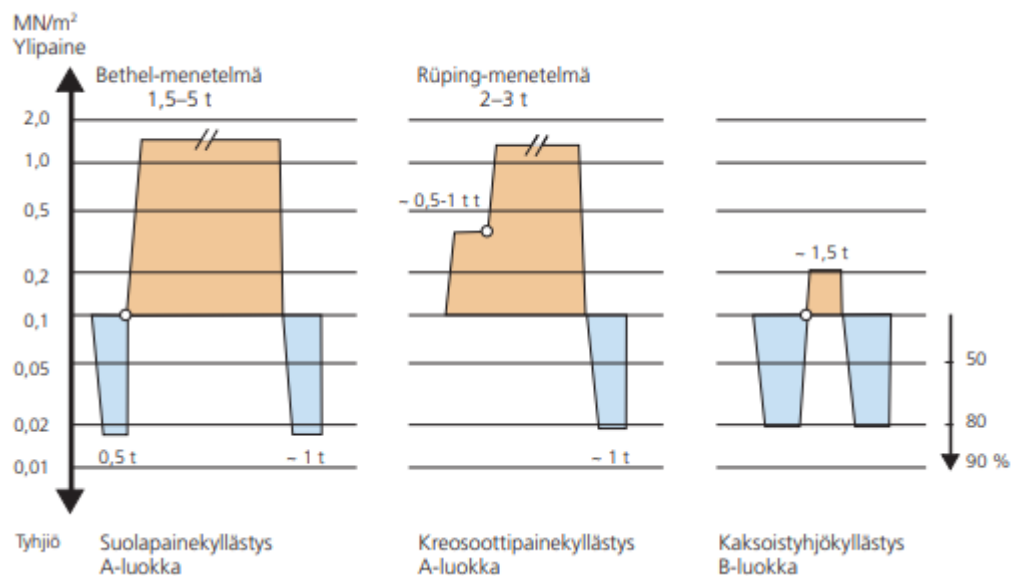
Säästökyllästystä käytetään kreosoottikyllästyksessä. Prosessi on melkein samanlainen kuin täyssolukyllästeessä, mutta ajat ja paineet vaihtelevat. Kreosoottiöllyn lämpötila on myös korkeampi kuin suolakyllästeen, eikä tässä prosessissa ole alkutyhjiötä. Puuhun painettava alkupaine (0,3–0,4 MPa) pidetään yllä 10–15 minuuttia, jonka suuruden avulla vaikutetaan puuhun jäävän kylästeen määrää. Alkupaine täyttää soluontelot, jotta kylästeaine imeytyy vain soluseinämiin. Kyläste (+85–95 °C) imeytetään puuhun paineen (1,0–1,2 MPa) avulla, 60–120 minuutin ajan. Lopussa imetään lopputyhjiö (0,75 bar), jota pidetään yllä 60–120 minuuttia. [1, s. 88; 12, s. 85–86.]

### 3.2.3 Kaksoistyhjäkyllästys

Kaksoistyhjäkyllästystä käytetään öljypohjaisilla kylästeillä. Tämäkään prosessi ei eroa täyssolukyllästysmuodosta, muuta kuin ajoissa ja paineissa. Kylästeen imeytymisen jälkeen tässä kylästysmuodossa käytetään vähäistä ylipainetta, kun taas painekyllästyksessä käytetään 14–16 ilmakehän ylipainetta. Kaksoistyhjäkyllästys prosessissa puu

tulee olla valmiiksi työstetty ennen kuin kyllästetään. Alkutyhjiötä (0,50 bar) pidetään yllä 10–15 minuuttia, jonka jälkeen kylläste imeytetään puuhun paineessa (1,5–2,0 bar) 5–10 minuutin ajan. Lopussa tässäkin on lopputyhjiö (0,85 bar), joka kestää 20–30 minuuttia. [1, s. 88; 12, s. 86].

Kuvassa 4 nähdään edellä esitettyjen kyllästemuotojen erot selvemmin. Suomessa käytetään yleisimmin näitä kolmea kyllästemuotoa, mutta muitakin kyllästemuotoja on kuten puserrus-, vaihtopaine-, Gewecke-, Lawry- ja diffuusiomenetelmä [12, s. 86].

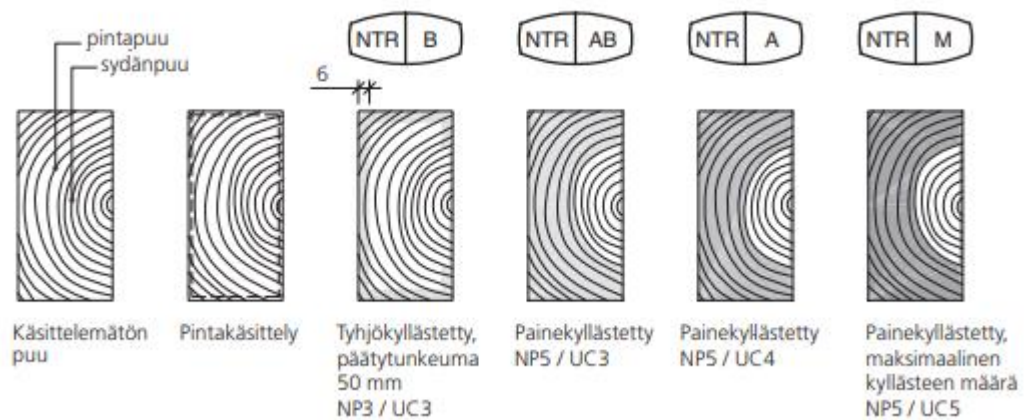


Kuva 4. Kyllästysmenetelmät [1, s. 87].

Kyllästetty puu jaetaan kyllästeluokkiin, joita on M, A, AB ja B. Luokitus perustuu standardeihin EN 335-1, EN 351-1 ja NTR (Nordiska Träskyddsrådet, pohjoismainen puun-suojaneuvosto) dokumenttiin numero 1:2010. Puut joiden NRT-luokitus on M, A, AB, on kyllästetty paineen avulla vesipohjaisella kyllästeellä tai kreosoottiöljyllä. M-luokan kyllästetyssä puussa kyllästeaine on saatu melkein sydänpuuhun asti ja määrä on kaksinkertainen verrattuna A- (16–36  $\text{kg/m}^3$ ) ja AB-luokkiin (8–19  $\text{kg/m}^3$ ), joissa puu on kyllästynyt vain pintapuun läpi [29]. B-luokan kyllästyksessä käytetään öljypohjaisia kyllästeitä, jotka imeytetään puuhun tyhjiön avulla. Kyllästeaine on imeytynyt B-luokassa vähintään 10 mm:n syvyyteen pintapuuhun, ja kyllästys tehdään valmiiksi työstetyille puille. [1, s. 89–90; 12, s. 95–96.]



Kuvassa 5 nähdään kyllästeen imeytyminen eri luokissa, sekä pohjoismaisten ja eurooppalaisten luokkien vastaavuus. Puutavara tulee merkitä NTR:n mukaan [13].



Kuva 5. Kyllästeaineen tunkeuma [1, s. 90].

Suomessa yleisesti käytettävä kyllästetty puu kuuluu luokkiin A ja AB, ja valittaessa kyllästeluokka tulee huomioida puun käyttökohde. A-luokkaan kyllästettyä puuta käytetään paikoissa, jotka ovat koko ajan kosketuksessa maahan tai veteen, kuten esimerkiksi sillat, laiturit, portaat ja pylväät. AB-luokkaan kyllästettyä puuta käytetään säälle ja kondenssikosteudelle alttiissa rakenteissa, jotka kuitenkin ei ole kosketuksessa maahan eikä veteen. Jos ne kuitenkin ovat kosketuksissa veteen, niin vaurioituneet osat tulee olla helppo vaihtaa. Käyttökohteita AB-kyllästeluokassa ovat muun muassa ulkoalusteet, huvimajat, ulkoverhoukset ja terassilaudoitukset. B-luokkaan kyllästettyä puuta käytetään samoissa paikoissa kuin AB-luokkaan kyllästettyä puuta, mutta erona on se, että B-kyllästysluokan puutavara on työstetty muotoon ennen kyllästystä. Käyttökohteita B-kyllästeluokassa ovat ikkunat ja ovet. M-luokkaan kyllästettyä puuta käytetään merivedessä, jonka suolapitoisuus on yli 0,7 painoprosenttia. Käyttökohteita M-kyllästeluokassa ovat muun muassa peruspaalut, satama- ja venelaiturit. [1, s. 92–93.]

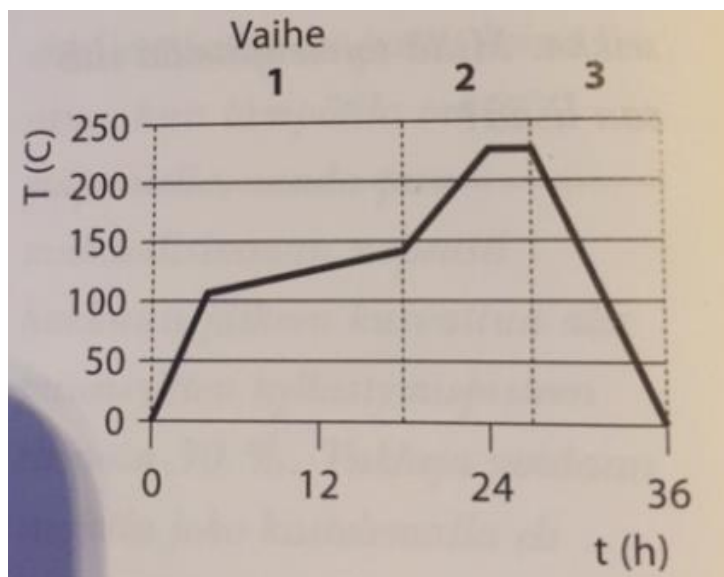
### 3.3 Lämpökäsittely

Lämpökäsittelyssä puun kosteuseläminen saadaan pieneneään ja biologinen kestävyys paranemaan [14]. Käsittelyn jälkeen puussa on huomattavasti vähemmän ainesosia, joita lahottajasienet käyttävät, sillä hemiselluloosan määrä vähenee puussa. Puun alhainen pH hidastaa myös lahoamista. [15.]

Lämpökäsittelyssä käytetään vain lämpöä ja vesihöyryä. Missään prosessin vaiheessa ei käytetä vieraita kemikaaleja, eikä puuhun lisätä vieraita aineita [7]. Käsittely tehdään lievästi ylipaineisessa uunissa, joka on saavutettu vesihöyryn avulla, mikä estää puun syttymisen [16].

Prosessissa voidaan käyttää joko tuoretta tai kuivaa puuta. Ensimmäinen vaihe on kuivata puu absoluuttisen kuivaksi, mutta tuore puu täytyy ensin kuumakuivata ennen ensimmäistä vaihetta. Kuumakuivaus tapahtuu 110–140 °C:ssa, ja kestää 0,5–1,5 vuorokautta riippuen tavarankuivan paksuudesta. [6, s.86.]

Lämpökäsittely prosessin (kuva 6) ensimmäinen vaihe on lämmittää uuni nopeasti +100 °C:seen, minkä jälkeen lämpötila nostetaan hitaasti +130 °C:seen, jolloin puun kosteuspitoisuus laskee melkein nollaan. Toisessa käsittelyvaiheessa lämpötila nostetaan +185–230 °C:seen, mikä on varsinainen lämpökäsittelyvaihe. Puuta pidetään tässä lämpötilassa 2–3 tuntia, riippuen halutusta lopputuloksesta. Viimeinen vaihe on puutavaran jäädytys vesisuihkun avulla noin +85 °C:seen, tällöin puun kosteus palautuu 4–7 %:n käyttökosteuteen. [1, s. 126.]



Kuva 6. Lämpökäsittelyprosessin käsittelykaavio [6].

Käsittely vaikuttaa useisiin puun ominaisuuksiin pysyvästi, kuten muotopysyvyyteen, lahonkestävyyteen sekä lämmöneristävyyteen, jotka ovat käsittelyn jälkeen paremmat kuin käsittelemättömällä puulla [17]. Puu myös kevenee ja vanhenee rakenteellisesti jopa 200 vuotta. [1, s. 126–127]. Korkea lämpötila poistaa puusta pihkaa, terpeenejä,

formaldehydejä ja vettä. Lämpökäsittelyssä puu läpi värjäytyy ruskeaksi ja siinä on savumainen tuoksu. [7, s.52]. Kuvassa 7 nähdään myös muita lämpökäsittelyn vaikutuksia puun ominaisuuksiin.



Kuva 7. Lämpökäsittelyn vaikutus puun ominaisuuksiin [7]

Lämpökäsitelty puu sopii kosteudelle alttiisiin olosuhteisiin, mutta ei sovellu jatkuvaan maa- ja vesikosketukseen [7, s. 51], varsinkaan jos rakenteissa vaaditaan rakenteellista lujuutta [1, s. 127].

Lämpökäsiteltyä puuta voi kierrättää, sillä sen valmistuksessa ei ole käytetty haitallisia kemikaaleja. Tällöin se on myös ympäristöystävällinen tuote, jonka voi hävittää polttamalla. [17.]

Lämpökäsitellyt puut jaetaan luokkiin 1–4. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvilla puilla on erittäin hyvä lahonkesto, jolloin puut voidaan sijoittaa vaativiin rakenteisiin. Toiseen luokkaan kuuluvilla puilla on hyvä lahonkesto, jolloin puut voidaan sijoittaa muun muassa pihakalusteisiin, ikkunoihin ja oviin. Kolmanteen luokkaan kuuluvilta puilta vaaditaan mittojen pysyvyyttä, jolloin puut voidaan sijoittaa muun muassa lattioihin, saunalauteisiin ja huonekaluihin. Neljänteen luokkaan kuuluvilla puilla ei ole tapahtunut fysikaalisissa ominaisuuksissa huomattavia muutoksia, vain väri on vaihtunut. [6, s.89.]

## 4 Puun ympäristökestävyyden tutkimusmenetelmät

Puita tulee tutkia, jotta tiedetään, soveltuvatko ne niille tarkoitettuihin käyttökohteisiin.

### 4.1 Kosteuskestävyys

Veden imeytyminen on olennainen puun pitkäaikaiskestävyyden kannalta.

Kosteus tarkoittaa veden massan ja materiaalin kokonaismassan suhdetta, kun taas kosteussuhde tarkoittaa veden massan ja materiaalin kuivan massan suhdetta. Näiden mittaamiseen käytetään samanlaisia menetelmiä, ne jaetaan joko yksivaiheisiin tai kaksivaiheisiin menetelmiin. Yksivaiheisessa pyritään määrittämään kosteus ja kosteussuhde suoraan, eli puun massa ja puussa olevan veden massa mitataan yhtä aikaa, kun taas kaksivaiheisessa mitataan kumpikin erikseen. [26, s.124–129].

Kaksivaiheisen menetelmässä helpoin tapa on punnita puu kosteana ( $m_u$ ), kuivata puu lämpökaapissa 95–105 °C:n lämpötilassa, joko vuorokauden tai jopa pidempään. Puuta tulee kuitenkin kuivata niin kauan, kunnes kahdessa peräkkäisessä punnituksessa tulee sama tulos, jolloin saadaan puun kuiva-massa ( $m_o$ ) puusta. Menetelmästä käytetään nimeä, lämpökaappimenetelmä. Kosteussuhde % ( $u$ ) saadaan laskettua kaavasta:

$$u = \frac{100 (m_u - m_o)}{m_o} (1)$$

Useissa puulajeissa on myös muita haihtuvia aineita kuin vain vesi, siksi erot puulajien välillä voi olla huomattavat. Vaikka ei olisi muita haihtuvia aineita, kuin vesi, niin lämpökaappimenetelmä ei välttämättä ole hyvä. Vaikka kuivaukseen käytettäisiin korkeampaa lämpötilaa, kuin veden kiehumispiste, niin ei se välttämättä tarkoita sitä, että puusta tulee absoluuttisen kuiva. Korkeaa lämpötilaa käyttäessä, saadaan energiaa vesimolekyyleihin, jolloin ne lisääntyvän liike-energian vuoksi lähtevät pois puusta. Osa molekyyleistä jää kuitenkin puuhun, sillä niitä kiinnipitävät voimat ovat isommat, kuin kappaleeseen tuotu lisäenergia. [26, s. 129–131]

Puuta voidaan myös kuivaa alhaisissa lämpötiloissa käyttämällä alipainetta, jolloin kiehumispiste vedelle alenee, ja tätä menetelmää kutsutaan vakuumikuivatusmenetelmäksi. Menetelmää käytetään kun puussa on muita haihtuvia aineita kuin vettä, jolloin myös puun kuivumisajat ovat pitkiä tätä menetelmää käytettäessä. Kaksivaiheisia menetelmiä on myös muitakin, muun muassa kuumailmakuivaus ja uuttamismenetelmä. [26, s. 131.]

Yksivaiheisissa menetelmissä kosteuden mittaamiseen voidaan käyttää sähkövastusta, sillä sähkövastus alenee kosteuden lisääntyessä. Mittarit, eivät ole kovinkaan tarkkoja, sillä kosteus jakautuu puunäytteessä epätasaisesti, ja eri puulajeilla sähkövastus vaihtelee samassa kosteudessa. [26, s. 133.]

Kosteutta voidaan mitata myös infrapuna-aaltojen avulla, tällöin menetelmässä mitataan infrapunasäteilyn heijastus näytteestä takaisin, jolloin voidaan määrittää veden määrä puussa. Pintakosteus vaikuttaa paljon tuloksiin, sillä infrapuna-aallot heijastuvat parhaiten pinnasta (tunkeumasyyvyys 1 mm). Ainoastaan näytteistä joiden pinnan kosteus vastaa koko näytteen kosteutta, saadaan oikeita tuloksia. Yksivaiheisia menetelmiä on myös muitakin, muun muassa mikroaaltomenetelmä ja ydinmagneettinen resonanssimenetelmä. [26, s. 135–136.]

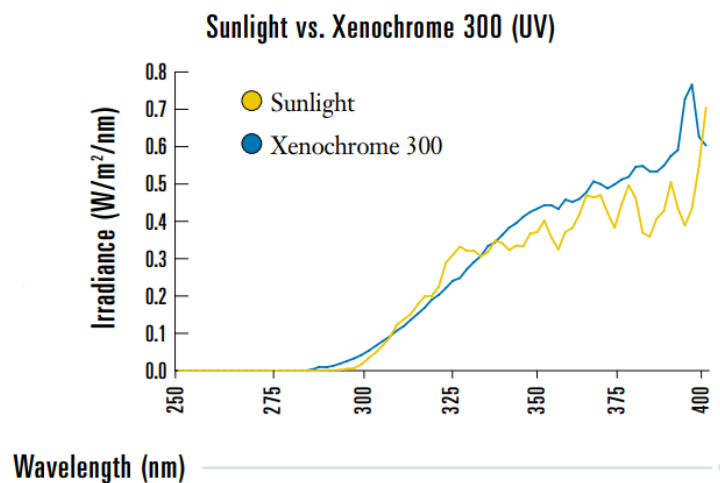
## 4.2 Säänkestävyys

Säänkestoa voidaan tutkia joko nopeutetulla olosuhdetestillä tai ulkokenttätestillä. Olosuhdetestillä saadaan tuloksia nopeammin kuin ulkokenttätestissä. Olosuhdetestissä voidaan käyttää joko ksenonlamppeja tai fluoresoivia UV-lamppeja. [18.]

Ksenonlamput simuloivat paremmin auringonvaloa, kuin mikään muut keinotekoiset valonlähteet, koska ne tuottavat UV-valoa, näkyvää valoa ja infrapunaa samassa suhteessa, kuin aurinko [19, s. 8]. Se on yleisesti suositeltava valonlähde, kun testattava materiaali halutaan altistaa luonnolliselle auringonvalolle. Kuvassa 8 on verrattu auringonvaloa ja Xenochrome 300 -kaapissa olevaa ksenonvaloa, jotta nähdään, kuin hyvin ksenonvalo simuloi auringon UV-valoa. Kuvasta 8 näkee myös auringonvalon ja ksenonlampun tuottaman säteilyn eron, joka on erittäin vähäinen verrattuna fluoresoiviin UV-lamppuihin kuva 9. [18.]

Olosuhdetestissä, jossa käyttää ksenonlamppuja, kannattaa tutustua seuraaviin standardeihin:

- ASTM G155-13 testattaessa ei metallisia kappaleita
- ISO 4892-2 muovin testaukseen
- ISO 11341 maalien ja lakkojen testaukseen
- ISO 105-B02 tekstiilien testaukseen.



Kuva 8. Ksenonlampun tuottaman säteilyn ero auringonvaloon [18].

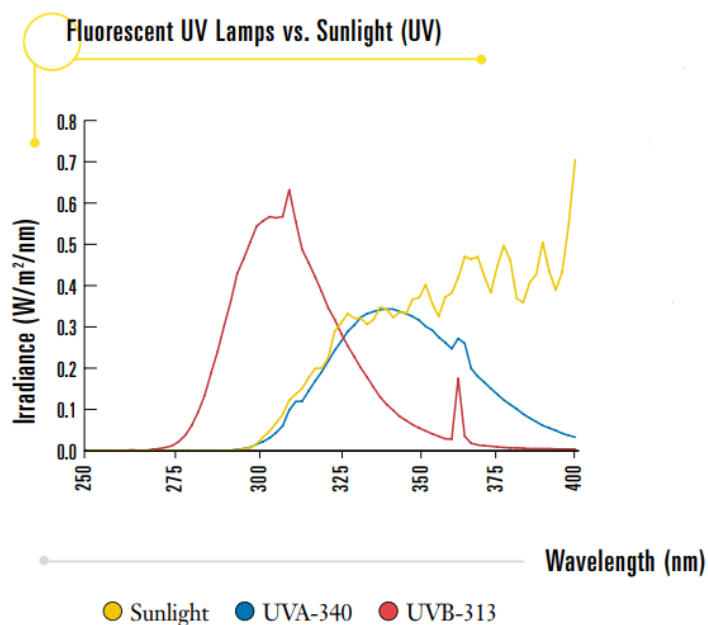
Fluoresoivia UV-lamppuja on olemassa useita erilaisia, ja niillä on ainutlaatuiset spektiominaisuudet. Fluoresoivien UV-B-lamppujen (UVB-313) aallonpituusalue keskittyy 280–360 nm:n välille. Tällöin suuri prosenttiosuus aallonpituuksista on lyhempiä, kuin mitä luonnollisessa auringonvalossa esiintyy. Käyttäessä UVB-lamppuja materiaalien hajoamismenetelmät voivat olla merkittävästi erilaisia, kuin luonnollisissa olosuhteissa, sillä pitkän aallonpituuden puute aiheuttaa nopeampaa hajoamista materiaalissa. [18.]

Fluoresoivien UV-A-lamppujen (UVA-240) aallonpituusalue keskittyy 340–370 nm:n välille. UV-A-lamput eivät aiheuta säteilyä luonnollisen auringonvalon aallonpituusalueen alapuolella, eli niiden tuottamaa säteilyä esiintyy luonnon auringonvalossa, joten tämän takia testit ovat verrattavissa ulkosäässä tehtäviin testeihin. UV-A-lampuilla tehdyt testit ovat hitaampia kuin UV-B-lampuilla tehdyt testit, mikä johtuu säteilyvoimak-

kuuksien eroista. Kuvasta 9 nähdään, kuinka paljon fluoresoivat UV-lamput eroavat toisistaan, sekä auringonvalosta. [18.]

Olosuhdetestissä, jossa käytetään fluoresoivia UV-lamppuja, kannattaa tutustua seuraaviin standardeihin:

- ASTM G154-16 testattaessa ei metallisia kappaleita
- ISO 4892-3 muovin testaukseen
- ISO 15507 maalien ja lakkojen testaukseen.



Kuva 9. UVA- ja UVB-lamppujen vertaus auringonvaloon [18].

Ulkokenttätestissä testattavat koekappaleet altistuvat suoraan auringonvalolle ja muille sääolosuhteille. Koemateriaalit asetetaan haluttuun suuntaan ja kulmaan. Kulmat joita käytetään yleisesti, ovat joko 45°, pystysuora 90° tai yhtä suuri kuin alueen leveysaste (Helsinki 60°) [18; 31.]

Koekappaleet voidaan altistaa joko suoralle säälle tai epäsuoralle säälle, missä epäsuoralle säälle altistaminen tarkoittaa lasin läpi altistamista. Suoralle säälle altistaessa, kannattaa tutustua seuraaviin standardeihin:

- ASTM G7 testattaessa ei metallisia materiaaleja
- ISO 877 muovin testaukseen
- ISO 2810 maalien ja lakkojen testaukseen
- ISO 105-B03 tekstiilien testaukseen.

Epäsuoralle säälle altistaessa, kannattaa perehtyä seuraaviin standardeihin:

- ISO 877 muovin testaukseen
- ISO 2410 maalien ja lakkojen testaukseen
- ISO 105-B01 tekstiilien testaukseen
- ATTCC 111 säänkestävyys
- ASTM G24 vakiokäytäntö.

Ulkona olevien sääolosuhteiden testaukset hyväksytään yleensä luotettavimmiksi testeiksi loppukäytön käyttöön kannalta, mutta monet muuttujat eivät takaa toistettavia tuloksia. Ilmasto testialueella voi vaikuttaa merkittävästi materiaalien vikojen määriin ja tiloihin. Eri ilmastoilla on eri määrä säteilevää energiaa, lämpöä, kosteutta ja epäpuhtauksia, mikä epäilemättä johtaa erilaisiin testituloksiin. Luonnonmullistukset saattavat myös johtaa pitkän aikavälin vaihteluille ilmastossa. Esimerkiksi tulivuorten purkauksessa ne tuovat tuhkaa ja epäpuhtauksia ilmaan, jotka alentavat maksimilämpötilaa, jolloin auringon säteilyn määrää vähenee. [18, s. 37–38.]

Auringon säteilyenergia, lämpötila ja kosteus vaihtelevat huomattavasti vuoden ajalta, ja nämä kausivaihtelut voivat aiheuttaa merkittäviä eroja hajoamisnopeudessa monissa materiaaleissa. Koska keskimääräisen lämpötilan, auringonpaisteen ja kosteuden tuntimäärät voivat vaihdella merkittävästi vuosittain missä tahansa paikassa, jopa koko vuoden mittaisten altistusten testitulosten vertailut voivat olla vaikeita. Siksi yhden altistustestin tulosta ei voida käyttää ennustamaan absoluuttista nopeutta, jolla materiaali



hajoaa. Useita vuosia toistuvaa altistumista tarvitaan, jotta saataisiin keskimääräinen testitulok. [18, s. 38.]

#### 4.3 Lahokestävyys

Lahokestävyyttä voidaan tutkia, joko kenttämaalahotuskokeella tai laboratoriossa tehtävillä multalaatikkokokeella ja viljelyastiakokeella. Kenttäkokeet kestävät huomattavasti kauemmin kuin laboratoriossa suoritettavat kokeet. Kenttäkokeissa sydänpuusta valmistetut kepit työnnetään maahan ja otetaan ylös aika, milloin kepit lahoavat poikki. [12, s. 15.]

Kenttäkokeessa sydänpuusta valmistetut kepit haudataan osittain maaperään (kuva 10), jossa ei ole kasvillisuutta. Sillä tällöin uusittavuus paranee ja testitulosten vaihtelu vähenee. Kasvillisuuden kasvun hillitsemiseen tarkoitettuja kemikaaleja ei saa käyttää, sillä ne voivat vaikuttaa sieni-iskuihin. Kepit on tarkastettava vuosittain, mutta tarkastuksia tulee välttää pitkän kuivakauden jälkeen, sekä sateen aikana, sillä ne vaikeuttavat arviointia. Mikro-organismien kuten sienten vaikutus keppeihin kirjataan ylös kokeiden aikana, silloin hyökkäyksen laajuuden arviointi perustuu lukuisiin tarkastuskertoihin. Tarkastuksen jälkeen kepit laitetaan takaisin niiden alkuperäisiin reikiin. [20.]



Kuva 10. Lahonkestävyyden kenttäkoe [24].

Laboratoriossa tehtävä multalaatikkokoe, jossa kuivatut näytteet on osittain haudattu pystysuoraan mikrobiologisesti aktiiviseen maaperään (kuva 11). Koekappaleet punnitetaan 8, 16, 24 ja 32 viikon altistumisen jälkeen. Tällöin lasketaan niiden kosteuspitoisuus ilmaisemalla niiden vesipitoisuus prosentteina alkuperäisestä kuivapainosta. Mul-

talaatikossa tulee olla luonnonmukainen maaperä, jossa pH on 6–8, eikä saa olla lisätyjä maatalousemikaaleja. Vedenpidätyskyky (WHC) tulee olla 25–60 %. Luonnollista maata käytettäessä tulee maa olla turpeesta tai se tulee ottaa maasta 50–200 mm:n syvyydeltä, ja maan tulee läpäistä seula, jonka koko on 12,5 mm. Optimaaliset hajamisolosuhteet saavutetaan, kun koekappaleiden kosteuspitoisuus on 50–80 %. Lopuksi kappaleet kuivataan uunissa, jonka jälkeen ne punnitaan ja lasketaan massahäviö puun kuivapainosta. Massahäviö kertoo puun lahonkestävyyden. [21.]



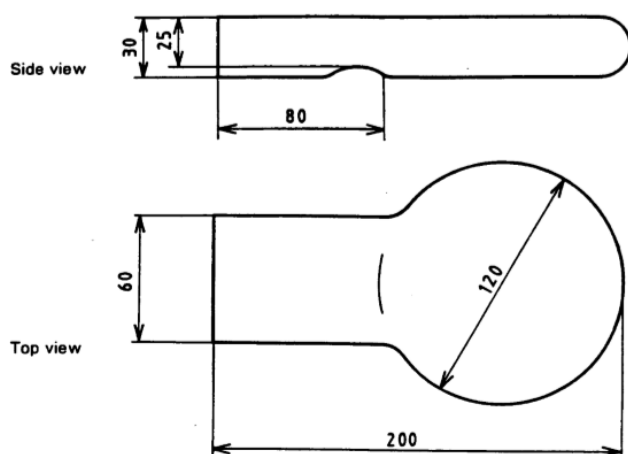
Kuva 11. Multalaatikkokoe [21].

Laboratoriossa tehtävässä viljelyastiakokeessa käytettävät sienet ovat *Choniophora puteana*, joka on pakollinen sieni kaikissa tapauksissa ja jota käytetään pehmeille puille. Sientä *Coriolus versicolor* käytetään koville puille, sekä pehmeälle puulle tarvittaessa. Testissä tulee käyttää vähintään kahta sienilajia, sienilajeja ovat muun muassa *Lentinus lepideus*, *Lentinus chyathiformis*, *Poria palacenta*, sekä *Gloeophyllum trabeum*. [22.]

Viljelyalustana (kuva 12) käytetään lasista astiaa, johon tehdään itse väliaine (sisältää mallasuutetta, agaria ja vettä) standardin EN 113:n mukaan. Ennen kuin koekappaleet voidaan laittaa viljelyastiaan sienien kanssa, tulee ne kuivata uunissa 103 °C:n lämpötilassa 18 h ja antaa jäähtyä huoneen lämpöiseksi, jonka jälkeen niistä punnitaan kuivapaino ( $m_1$ ). Koekappaleet laitetaan viljelyastiaan, jotka sijoitetaan viljelykammioon, ja koekappaleet ovat siellä 16 viikon ajan. Kokeen loputtua koekappaleet tutkitaan silmä-

määräisesti ja kirjataan ylös kaikki havainnot. Tämän jälkeen kappaleet punnitaan ( $m_2$ ) ja kuivataan uudestaan uunissa, jonka jälkeen ne punnitaan ( $m_3$ ) uudestaan. Näistä saadaan laskettua kosteuspitoisuus puussa, kun lasketaan vesipitoisuus prosentteina sen lopullisesta kuivamassasta ( $m_2-m_3$ ). [22.]

Kaikista tärkeintä on kuitenkin laskea lahonkestävyys, joka saadaan laskettua koekappaleiden painohäviöstä. Täytyy siis tietää puukappaleen kuivapaino ennen koetta ( $m_1$ ) ja puukappaleen kuivapaino kokeen jälkeen ( $m_3$ ), jolloin voidaan laskea lahonkestävyys ( $m_1-m_3$ ). [23.] Mitä suurempi on tutkittavan koekappaleen painohäviö, sitä enemmän lahottajasieni on syönyt puuta, joten tällöin kylläste ei suojaa hyvin lahottajasientä vastaan.



Kuva 12. Esimerkki yhdenlaisesta viljelyastiasta [23].

Lahonkestävyyttä tutkiessa tulee perehtyä ainakin johonkin seuraavaan standardiin paremmin:

- EN 252 kenttäkoemenetelmä puunsuojan arviointiin maakontaktissa
- ENV 807 laboratoriomenetelmä puunsuojan arviointiin multalaatikossa
- EN 133 laboratoriomenetelmä puunsuojan arviointiin viljelyastiassa.

## 5 Koemateriaalit

Koekappaleina käytettiin 100 mm x 94 mm x 50 mm:n kokoisia mäntypaloja. Koepalat on valmiiksi kyllästetty ja vanhennettu Aalto Haitek Oy:n omilla tekniikoilla.

Koekappaleita on yhteensä 78, ja niissä on käytetty kahdeksaa eri kyllästysainetta, ja osassa on käytetty keinovanhennettua puuta saman kyllästeen pohjana. Koemateriaalina käytetään myös täysin käsittelemättömiä puita, sekä 40-vuotiaaksi keinovanhennettuja puita. Eri kyllästeet ovat Terva, Terva 2, Ekoteko, Pihka, Pihka 2, Pellava, Mänty ja Mänty 2. Terva 40:ssä ja Ekoteko 40:ssä on käytetty pohjana 40 vuotta vanhennettua puuta. Jokaisesta kyllästeaineesta saatiin kolme näytettä eri kokeeseen, samalla saatiin referenssinäytteet, jotka eivät mene koestettaviksi.

Kylläste laitettiin puuhun omalla kyllästemenetelmällä Aalto Haitek Oy:ssä. Taulukossa 1 näkyy kyllästeaineille tehtävät testit ja testikappaleiden määrät. Taulukossa myös näkyy vanhennetulle puulle ja käsittelemättömälle puulle tehtävät testit ja testikappaleiden määrät.

Taulukko 1. Tehdyt testit ja kappalemäärät testeissä

Kyllästeaineet	Upotustesti	Kosteustesti	UV testi
<b>Terva</b>	3	6	12
<b>Terva 2</b>		3	
<b>Ekoteko</b>	3	6	12
<b>Pihka</b>	3	3	6
<b>Pihka 2</b>		3	
<b>Pellava</b>	3	3	6
<b>Mänty</b>		3	
<b>Mänty 2</b>		3	
<b>Vanhennettu</b>	3	3	6
<b>Käsittelemätön</b>	3	3	6

## 6 Tutkimusmenetelmät

### 6.1 Upotusrasitus

Ennen kuin koekappaleet laitettiin upotukseen (kuva 13), annettiin kyllästettyjen kappaleiden seistä vuorokausi laboratoriossa (ilmankosteus (RH) 22 %), jotta saatiin haihtuvat aineet haihtumaan. Käsittelemätön puu ja vanhennettu puu kuivattiin kiertoilmauunissa 105 °C:ssa, niin kauan ettei paino enää muuttunut merkittävästi. Nämä kappaleet olivat viikonlopun ylin laboratoriossa, jonka suhteellinen kosteus oli 22 %. Kappaleiden päälle tuli laittaa painot, sillä muuten olisivat kelluneet eivätkä näin olisi olleet kokonaan upotuksissa.



Kuva 13. Käsittelemättömät palat menossa upotukseen.

Upotusrasitustestissä puukappaleet punnittiin ennen veteen laittamista, ja kappaleet myös punnittiin 1, 2, 7, 8, 10 ja 14 vuorokauden jälkeen. Painon muutoksella nähtiin, imeekö puu vettä itseensä ja kuinka paljon.

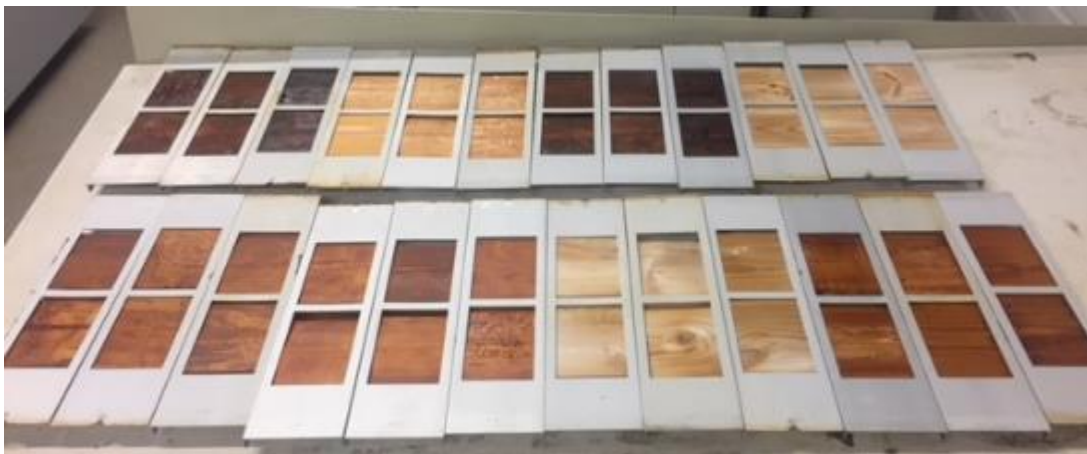
## 6.2 Kosteusrasitus

Kyllästettyjen koepalojen annettiin seistä laboratoriossa (RH 22 %) kaksi viikkoa, ennen kuin ne laitettiin olosuhdekaappiin, jotta haihtuvia aineita ei enää olisi. Tässäkin testissä käsittelemättömät ja vanhenneet puut kuivattiin 105 °C:ssa kiertoilmauunissa, niin kauan, ettei paino enää huomattavasti muuttunut. Kappaleet olivat kuukauden laboratoriossa (RH 22 %). Ennen koestukseen laittamista kappaleet punnittiin, kappaleet punnittiin myös 1, 2, 3, 4 ja 7 vuorokauden kosteusrasituksen jälkeen.

Olosuhdekaappiin (Discovery ACS) asetettiin 21 °C:n lämpötila ja suhteellinen kosteus RH 80 % [25].

## 6.3 Säärasitus

Kappaleet halkaistiin ja kavennettiin, jotta ne saatiin mahtumaan QUV/spray -säkäkaappiin ja -kehikkoihin (kuva 14). Yhdestä kappaleista saatiin tehtyä aina kaksi koepalaa, joten testiin saatiin joka palasesta sydänpuoli ja pintapuoli.



Kuva 14. Testikappaleet sääkaappiin kuuluvissa metallikehikoissa.

Kaappi on kiihdytetyn ilmastorasituksen testauslaite, jossa voidaan simuloida auringonvalon, vesisateen ja ilmankosteuden vaikutuksia materiaaleissa. Kokeessa tutkittiin kuinka UV-säteily, lämpö, vesisuihkutus ja kosteus vaikuttavat koekappaleisiin.

Testissä käytettiin UVA-340-lamppuja, jotka tuottavat eniten aallonpituutta 340 nm. Etelä-Suomen vuotuinen UV-säteily määrä on noin 130 MJ/m<sup>2</sup> EOTAn mukaan. Testausaika laskettiin Etelä-Suomen vuosittaisen säteilyenergian perusteella, joka on 3,2 GJ/m<sup>2</sup>. Ultravioletialueelle jäävä osuus on noin 6 %. Käytettiin myös korjauskerrointa 0,67, sillä pitää ottaa huomioon, että UV-säteily on heikompaa talvikauden aikana. Laskukaava vuotuisen UV-säteily määrään on seuraavanlainen [27, s. 9]:

$$0,67 \times 0,06 \times 3,2 \left( \frac{GJ}{m^2} \times vuosi \right) \times 1 Vuosi = 128,64 \frac{MJ}{m^2} \approx 130 \frac{MJ}{m^2}$$

Vuotuinen säteily määrä lisättiin laskukaavaan, jolla pystyttiin laskemaan teoreettinen altistumisaika sääkaapissa. Tämä vastaa luonnollista auringonsäteilyn tuottamaa UV-säteily määrää. Kokeen pituus saatiin laskettua sijoittamalla arvot kaavaan [18,s.63]:

$$\frac{1300 \frac{KJ}{m^2}}{\left( 0,76 \frac{W}{m^2} \times 3,6h \right)} = 475,146 h \approx 475 h$$

Testi tehtiin ISO 4892-3:n mukaan eli 8 h UV-rasitusta, sen jälkeen 0,25 h vesisuihkutusta pimeässä ja lopussa 3,75 h kosteutta myös pimeässä. Koeaikaan piti lisätä myös pimeä kausi, eli aika jolloin kappaleet ovat vesi suihkutuksessa ja kosteudessa:

$$0,5 h \times 475 h = 237,5.$$

Pimeä aika lisättiin valoisaan aikaan, jolloin saadaan testin kokonaisaika laskettua:

$$475,146 h \times 237,5 h = 712,646 h \approx 713 h \text{ eli } 30 d.$$

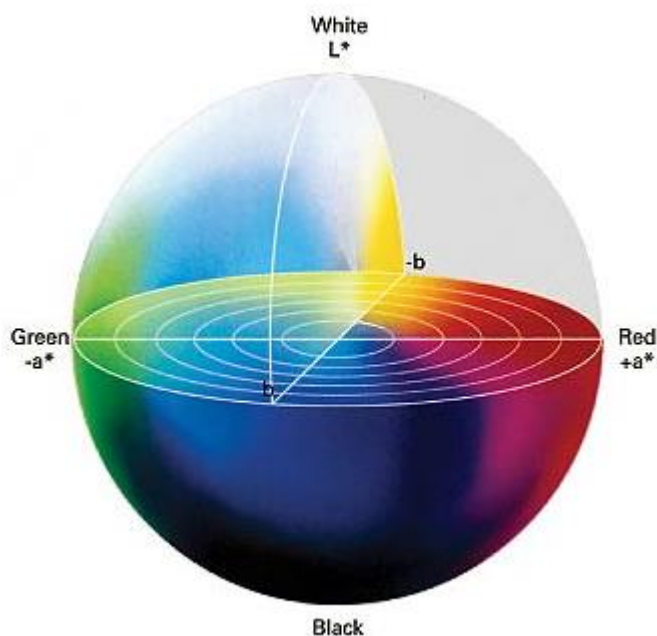
Yhden koko syklin kesto on 12 tuntia, joten koko testin aikana ajetaan 59 kokonaista sykliä. Lämpötilana käytettiin 60 °C, jotta saatiin asetettua säteilyrasitus 0,76 W/m<sup>2</sup>. Kosteussyklin aikana olisi haluttu lämpötila pitää standardin mukaisesti 50 °C:ssa, mutta sääkaappi ei pystynyt pitämään lämpöä 50 °C:ssa, joten jouduttiin laskea lämpötila 40 °C:seen. Vesisuihkutuksen aikana lämpötilaa ei kontrolloida.

UV-rasituksen jälkeen levyt tutkittiin silmämääräisesti värin ja ulkonäön perusteella. Koestettuja levyjä verrattiin referenssinäytteisiin ja toisiin samoihin näytteisiin. Kuvat otettiin näytekappaleista ennen UV-rasitukseen laittoa, sekä sen jälkeen, jotta voidaan

verrata värimuutosta, myös kuvien perusteella. Näytekappaleista ja referenssikappaleista otettiin vierekkäin kuvat, jotta nähdään myös näin tulleet erot.

Testikappaleista myös mitattiin väri, ja verrattiin saatuja tuloksia referenssikappaleiden tuloksiin. Mittalaitteena käytettiin Konica Minolta 2500d -värimittaria, jossa mittauskulma on  $10^\circ$ .

CIELAB-väriasteikko on yhtenäinen väriasteikko, joka kuvaa värit koordinaatistossa (kuva 15) ja antaa väreille numeraaliset arvot.  $L^*$  0 -arvo tarkoittaa mustaa ja  $L^*$  100 -arvo valkoista näytettä. Pieni  $a^*$  -arvo tarkoittaa vihreämpää ja suuri punaisempaa näytettä. Pieni  $b^*$  -arvo tarkoittaa sinisempää ja suuri keltaisempaa näytettä. Arvot  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  ja  $\Delta b$  kertovat, kuinka paljon standardi ja näyte eroavat toisistaan  $L$ -,  $a$ - ja  $b$ -arvoissa. Mittausten perusteella saaduista arvoista voitiin laskea kokonaisvärimuutos  $\Delta E^*$  -arvo, joka saatiin kaavasta [28]:



Kuva 15. CIELAB-värikoordinaatisto [30]

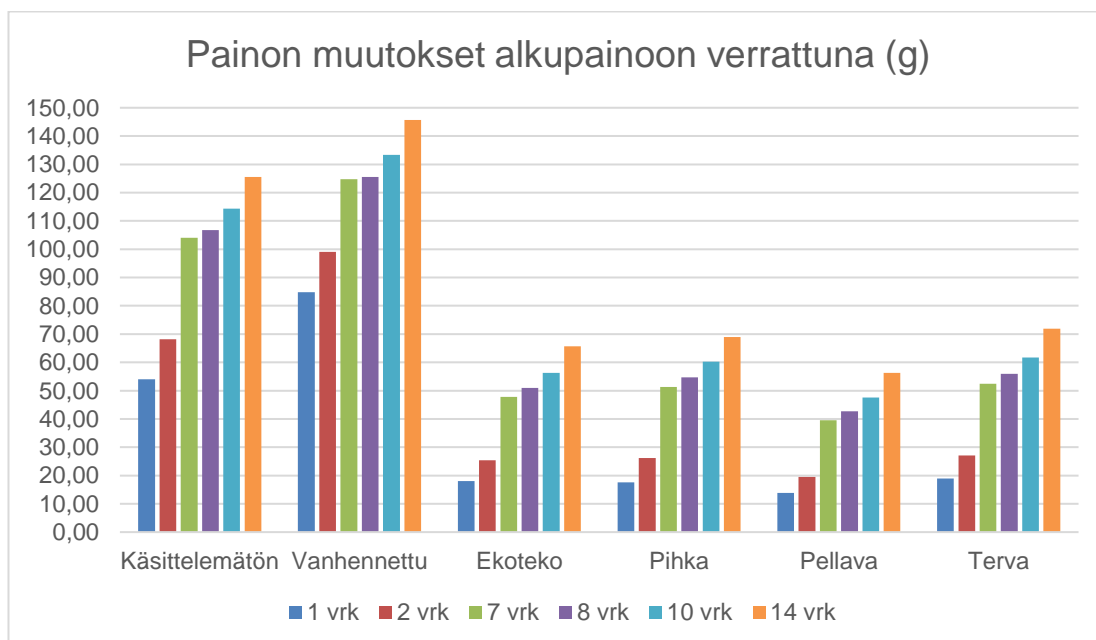


## 7 Tulokset ja niiden tarkastelu

### 7.1 Upotusrasitus

Upotusrasituksessa olleiden testikappaleiden painon nousut verrattuna alkupainoon näkyvät kuvassa 16. Upotusrasituksessa oli kaikista eri koekappaleista kolme palaa, joten painon muutokset on laskettu niiden keskiarvoina. Kaikkien 18 kappaleiden punnitut painot näkyvät liitteessä 1.

Kuvasta 16 huomaa, että vanhennettu puu imi huomattavasti enemmän vettä itseensä, kuin kyllästetyt puut, mikä ei tietenkään ole yllätys, sillä siihen ei ole lisätty mitään, mikä estäisi veden imeytymisen ja myös vanhentaminen rikkoo puun rakennetta. Kuvasta nähdään myös, että Pellava-kyllästeellä käsitelty puu imee vähiten vettä itseensä, kuin muut kyllästetyt puu. Pihka ja Ekoteko ovat aika tasaväkisiä ensimmäisinä päivinä, mutta ero syntyi jo 7 vuorokauden jälkeen, eli Ekoteko kuitenkin imi vähemmän vettä, kuin Pihka. Jokainen koekappale imi vettä itseensä, mutta onhan upotustesti aika radikaali testi, sillä harvoin puuta kuitenkaan vedessä koko ajan pidetään, paitsi silloin, kun puu on laitureissa, veneissä yms.



Kuva 16. Upotusrasituksessa olleiden kappaleiden keskiarvolliset painon muutokset alkupainoon verrattuna (g).

Puiden kuivuttua viikon tarkistettiin halkeamat puissa, ja pahiten oli halkeillut käsittelemätön puu ja vähiten halkeiluja oli Ekotekossa ja Tervassa. Jokaisessa puussa oli halkeamia päissä, mikä kertoo veden imeytymisestä, sillä joutuessaan vesikosketukseen puu turpoaa ja kuivaessa puu kutistuu, jolloin näiden kahden vaikutuksesta syntyy halkeamia. Sinistä ja mustaa värjäytymistä esiintyi ainoastaan käsittelemättömässä puussa, muissa koekappaleissa ei näkynyt värjäytymisiä.

Taulukossa 2 on valikoitujen kyllästettyjen ja käsittelemättömien puiden kosteusprosentit laskettuna eri vuorokausina. Pellavalla kyllästetty puunäytteet ei ole saavuttanut vielä 14 vuorokauden jälkeen kosteusprosenttia 20, mutta tuloksista voidaan päätellä, että lahoamiskosteus saavutettaisiin noin 18 vuorokauden päästä, jos kosteuden lisääntyminen jatkuisi samankaltaisena. Käsittelemättömät puut ovat saavuttaneet jo vuorokauden aikana kosteusprosentin 20. Ekotekolla kyllästetty näyt 1 saavutti 20 kosteusprosentin 14 vuorokaudessa. Keskimäärin Ekoteko-suojattu puu saavuttaisi sen noin 20 vuorokauden sisällä, jos kosteuden kasvunopeus jatkaisi pienenemistään.

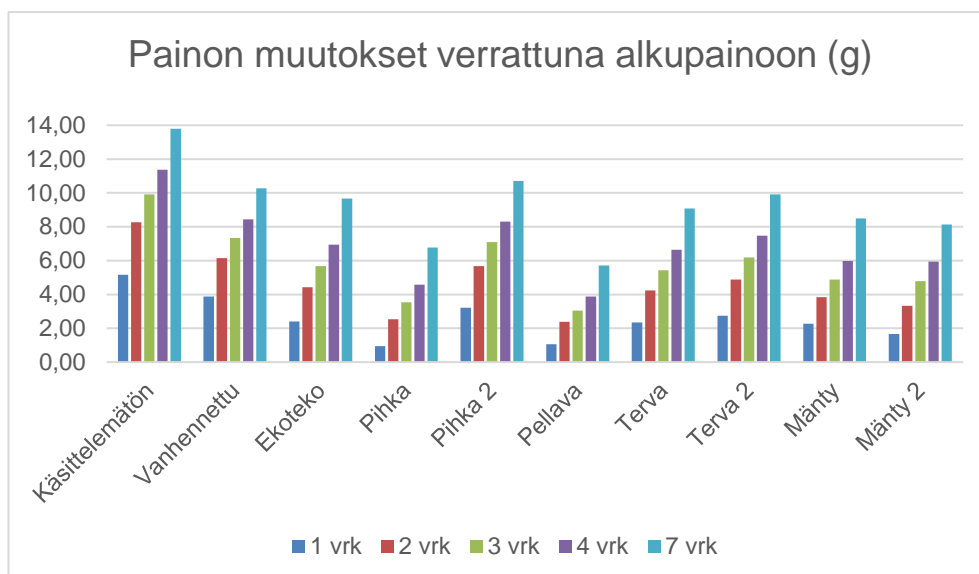
Taulukko 2. Valikoitujen kyllästettyjen puiden kosteusprosentteja eri upotusajoilla

Kylläste	Näyte	1 vrk	2 vrk	7 vrk	8 vrk	10 vrk	14 vrk
Pellava	1	4,01	5,48	10,36	11,15	12,30	14,36
	2	5,07	7,01	13,07	13,91	15,28	17,52
	3	4,04	5,65	11,05	11,82	12,97	14,93
Käsittelemätön	1	23,82	27,35	35,46	36,00	37,54	39,85
	2	21,22	26,10	35,34	36,11	37,74	39,82
	3	20,18	24,30	33,49	33,95	35,52	37,77
Ekoteko	1	6,29	8,74	15,86	16,81	18,20	20,52
	2	5,83	7,99	13,93	14,70	16,05	18,34
	3	5,37	7,33	12,56	13,24	14,38	16,41

## 7.2 Kosteusrasitus

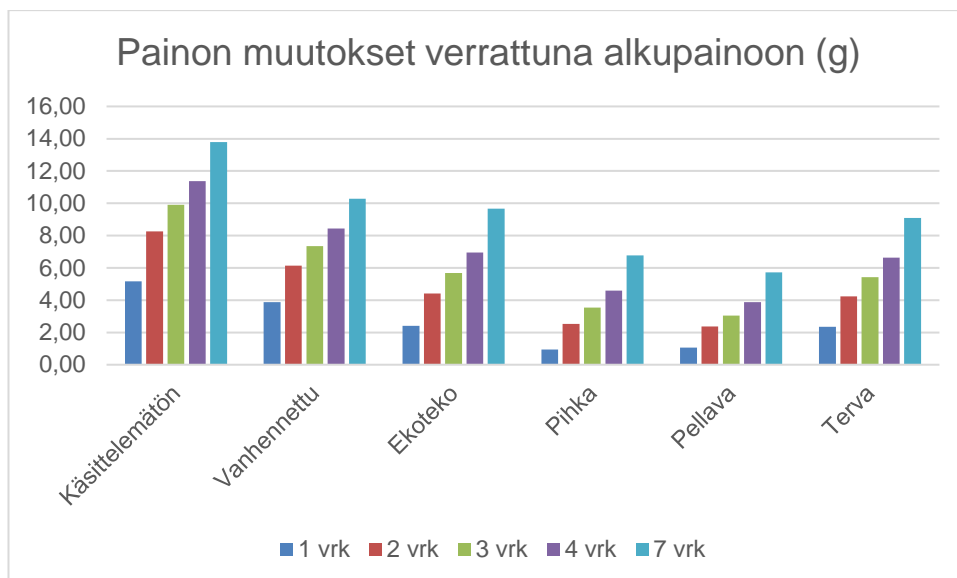
Kosteusrasituksessa olleiden palojen keskiarvolliset painon muutokset nähdään kuvassa 17. Kaikkien koekappaleiden punnitut painot ovat liitteessä 2. Kyllästeiden Pihka, Pihka 2, Terva ja Terva 2 erot tuloksissa voivat johtua siitä että Pihkassa ja Tervassa on 30 % haihtuvaa ainesosaa, kun taas kyllästeissä Pihka 2 ja Terva 2 on 65 %. Kyllästeiden Mänty ja Mänty 2 hygroskooppista eroa ei pystytty päättämään, sillä niissä

ei ole haihtuvia aineita, joista ero voisi johtua. Vähiten hygroskooppisin oli Pellavalla käsitelty puu.



Kuva 17. Kosteustestissä olleiden koekappaleiden keskiarvolliset painon muutokset alkupainoon verrattuna (g).

Ottaessa kuvasta 18 pois kyllästeet Pihka 2:n, Terva 2:n, Männyn ja Mänty 2:n, nähdään erot kyllästeissä (kuva 18), joita on myös käytetty upotustestissä. Kosteustestissä olleista paloista hygroskooppisin oli käsittelemätön, mikä oli yllätys, sillä vesiupotuksessa vanhennettu puu kuitenkin imi itseensä enemmän vettä, kuin käsittelemätön. Voisi kuitenkin kuvitella, että vanhennettu puu olisi tällöin myös kosteustestissä ollut hygroskooppisempi. Ekoteko imi vettä itseensä upotusrasituksessa toiseksi vähiten, mutta kosteusrasituksessa se oli kolmanneksi hygroskooppisin. Voisiko tämä johtua siitä, että puissa on eri määrä kyllästettä. Haihtuvia aineita ei Ekotekossa pitäisi olla, joten ajan jonka kyllästetyt puut olivat laboratoriossa, ei pitäisi vaikuttaa tähän eroon.



Kuva 18. Valikoitujen kosteustestissä olleiden koekappaleiden keskiarvolliset painon muutokset alkupainoon verrattuna (g).

Taulukossa 3 on valikoitujen kyllästeiden ja käsittelemättömien puiden kosteusprosentteja eri vuorokausina. Mikään puu ei ole vielä saavuttanut kosteusprosenttia 20 7 vuorokautteen mennessä. Välttämättä mikään puu ei alkaisi lahota missään vaiheessa, sillä ilman suhteellisen kosteuden tulisi ylittää yli 90 %, jotta puun kosteusprosentti nousisi 20:een ja testissä ilmankosteus oli 80 % [3]. Puun kosteusprosentti nousee 17 % ilmankosteuden ollessa 80 % ja lämpötilan ollessa 21 °C (liite 6). Kuitenkin huomataan, että käsittelemätön puu asettuu nopeammin tasapainokosteuteen, kuin Pellava ja Ekoteko. Pellava asettuu hitaimmin tasapainokosteuteen, joten on parhain näistä.

Taulukko 3. Valikoitujen kyllästettyjen puiden kosteusprosentteja eri altistusajoilla.

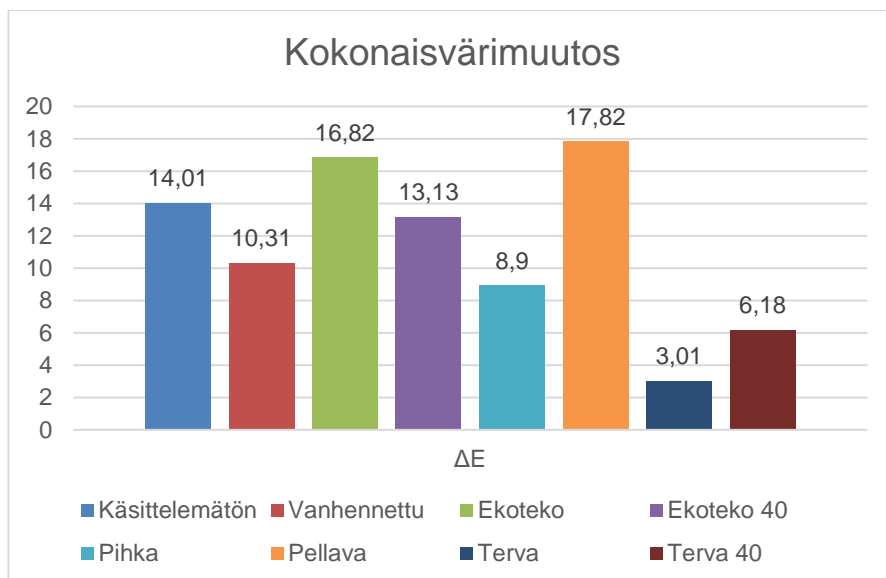
Kyllästeet	Näyte	1 vrk	2 vrk	3 vrk	4 vrk	7 vrk
Pellava	1	0,42	0,75	0,95	1,17	1,69
	2	0,26	0,92	1,34	1,77	2,70
	3	0,36	0,73	0,80	0,97	1,36
käsittelemätön	1	2,34	3,77	4,51	5,17	6,28
	2	2,43	3,78	4,50	5,13	6,16
	3	2,58	4,00	4,75	5,38	6,36
Ekoteko	1	1,08	1,98	2,49	2,99	3,99
	2	0,55	1,10	1,46	1,82	2,60
	3	0,85	1,44	1,82	2,21	3,06

### 7.3 Säärasitus

QUV-sääkaapissa olleista kappaleista mitattiin koestuksen jälkeen väri, sekä tehtiin silmämääräinen tutkiminen värimuutoksissa, halkeamissa, sekä kyllästeen pintaan noususta.

Värieromittaus on kaikista paras tapa selvittää, kuinka paljon värieroa on syntynyt, sillä ihmissilmällä sitä ei välttämättä näe niin tarkkaan.

Kuvassa 19 on näytteiden keskiarvolliset kokonaisvärimuutokset (liite 3) verrattuna referenssipaloihin. Liitteessä 3 on myös esitetty kaikkien koekappaleiden kokonaisvärimuutokset. UV-rasitustestin jälkeen tehdyssä värieromittauksessa suurempi ero referenssikappaleeseen oli tullut Pellavalla ja pienin Tervalla (kuva 19). Kuitenkaan tähän mittaukseen ei voida luottaa kovin paljon, sillä kappaleista olisi tullut mitata väri ennen UV-testiin laittamista ja verrata saatuja tuloksia niihin, eikä referenssikappaleisiin. Kuitenkaan referenssikappaleet ja koekappaleet eivät olleet tasavärisiä, ainoastaan voidaan luottaa vanhenneen ja käsittelemättömän puun värieromittauksiin. Tervalla kyllästetyn puun, jossa on 40-vuotias puu pohjana, kokonaisvärimuutos on isompi kuin Tervalla kyllästetty uuden puun. Ekotekolla kyllästetyssä puussa, jossa on 40-vuotias puu pohjana, kokonaisvärimuutos on pienempi, kuin Ekotekolla kyllästetyn uuden puun. Vaikea sanoa miksi näin on. Voisi kuvittelisi, että molemmissa joissa on käytetty vanhennettua puuta pohjana, olisi kokonaisvärimuutos, joko isompi tai pienempi, eikä toisessa isompi ja toisessa pienempi kokonaisvärimuutos. Referenssikappaleiden ja testikappaleiden valokuvat ovat liitteessä 4.



Kuva 19. UV-rasituksessa olleiden palojen kokonaisvärimuutos verrattuna referenssipalaan.

Liitteessä 4 on kuvat, joista voidaan silmämääräisesti katsoa tulleet muutokset värissä. Taulukossa 4 on esitetty värierot alkuperäisiin kuviin verraten. Kuten siitä huomaa, niin melkein kaikki on tummunut, joistakin kyllästeistä on myös tullut vaaleampia, ja Tervassa on kaikki vaalennut lähtötilanteeseen verrattuna. Siksi aikaisempi värimittaus ei kerro välttämättä oikeanlaista tulosta, sillä referenssinäyte ei ole välttämättä ihan samanvärinen, kuin näytteet. Koekappaleet eivät kuitenkaan olleet kovin tasaisia väriltään, eivätkä myös referenssinäytteet.

Taulukko 4. Värierot silmämääräisesti katsottuna alkuperäisiin kuviin.

<b>Käsittelemätön</b>	Tummuneet
<b>Vanhennettu</b>	Osa tummuneet ja osa vaalenneet
<b>Ekoteko</b>	Tummuneet
<b>Ekoteko 40</b>	Osa tummuneet ja osa vaalenneet
<b>Pihka</b>	Tummuneet
<b>Pellava</b>	Tummuneet
<b>Terva</b>	Vaalenneet
<b>Terva 40</b>	Osa tummuneet ja osa vaalenneet

Taulukossa 5 näkyy eri kyllästeen keskiarvolliset  $\Delta L$ -parametrien erot, -  $\Delta L$  tarkoittaa puun tummumista ja +  $\Delta L$  puun vaalenemista. Liitteessä 3 on esitetty kaikkien kappaleiden  $\Delta L$ -parametrien erot.

Taulukko 5. Koekappaleiden keskiarvolliset  $\Delta L$ -parametrit.

Kylläste	$\Delta L$
Käsitlemätön	-11,89
Vanhennettu	-8,99
Ekoteko	-15,68
Ekoteko 40	-11,27
Pihka	1,13
Pellava	-13,22
Terva	-1,44
Terva 40	-3,95

Silmämääräisesti tarkastettiin myös kappaleisiin tulleet halkeamat, sekä kyllästeen nousu pintaan. Koepalat on merkitty numeroilla 1–6, jolloin numerot 1–3 tarkoittavat sydänpuuta ja 4-6 tarkoittavat pintapuolta.

Taulukossa 6 on listattu puissa esiintyvien halkeamien määrä, koko ja syvyydet. Halkeamien määrät ja koot on listattu SFS-EN ISO 4628-4 mukaan (liite 6). Kaikkia syvyyksiä ei merkitty, sillä ne olivat niin vähäiset verrattuna kappaleisiin, joihin ne on merkitty.

Taulukosta 6 nähdään, että vanhennetuissa ja käsitlemättömissä puissa halkeamat ovat pahimmat. Huomataan myös, että näissä puissa pintapuolella on pahemmat halkeamat kuin sydänpuolella. Ekoteko 40:llä kyllästetyillä puilla ei esiintynyt halkeamia ollenkaan, muuta kuin yhdessä pintapuolipalasessa (näyte 4) oli kylläste noussut pintaan, eli halkeamia puussa ei näkynyt, mutta kyllästeessä näkyi pitkiä viiltoja, jotka varmaan ovat halkeamia, mutta kylläste peittää ne. Näin oli käynyt myös Ekotekolla kyllästetyissä näytteissä 4 ja 6, sekä Tervalla kyllästetyissä näytteissä 4 ja 5. Ekotekolla ja Pellavalla kyllästetyillä puilla ei ollut kahdessa sydänpuoli puussa ollenkaan halkeamia, eikä Pihkassa ollut kahdessa pintapuolipuussa halkeamia.

QUV-testin jälkeen vähiten halkeamia oli Ekoteko 40:ssä, muissakaan kyllästetyissä koepaloissa ei ollut niin pahoja halkeamia, kuin vanhennetuissa ja käsitlemättömissä koepaloissa.

Taulukko 6. Halkeamat puissa määrä, koko (S) ja osassa syvyys.

Kylläste	Näyte nro. 1	Näyte nro. 2	Näyte nro. 3	Näyte nro. 4	Näyte nro. 5	Näyte nro. 6
<b>Käsitlemätön</b>	2(S3)	1(S3)	4(S2)	2(S4)	4(S5) 1,5 cm	4(S5)
<b>Vanhennettu</b>	2(S3)	3(S3)	1(S2)	3(S3)	2(S5) 1,8 cm	3(S4)
<b>Ekoteko</b>	1(S2)	0	0	0	2(S3)	0
<b>Ekoteko 40</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Pihka</b>	1(S3)	1(S3)	2(S3)	1(S4)	0	0
<b>Pellava</b>	2(S3)	0	0	1(S3)	2(S4)	2(S2)
<b>Terva</b>	1(S2)	1(2)	1(2)	0	0	3(S3)
<b>Terva 40</b>	1(S2)	1(S2)	0	1(S2)	1(S2) 1,8 cm	4(S2)

Kyllästeen nousu pintaan ei ole haluttua, joten taulukosta 7 nähdään, missä kyllästeissä näin on tapahtunut. Pihkassa, Pellavassa ja Terva 40:ssä kyllästettä oli tullut pintaan enemmän tai vähemmän. Ekotekossa ja Ekoteko 40:ssä kyllästettä ei ollut sydänpuun puolella noussut ollenkaan. Pihkassa ja Terva 40:ssä on kuitenkin eniten ja pahiten tullut kyllästettä pintaan.

Kyllästettä oli noussut melkein joka koepalassa pintaan jonkin verran, paitsi kyllästeissä Ekoteko ja Ekoteko 40 oli vain kahdessa palassa tullut kyllästettä paljon. Nämä palat olivat pintapuolipaloja, joten kyllästeen pintaan nousu voisi johtua siitä, että pinta- puoli on imenyt itseensä kyllästettä enemmän kuin sydänpuoli. Pellavassakaan ei nyt voi sanoa, että olisi kyllästettä oikein ollut, sillä vain yhdessä pintapuolipalassa oli runsaasti kyllästettä, kun taas muissa ei juuri ollenkaan.

Taulukko 7. Pintaan nousseen kyllästeen määrä

Kylläste	Näyte nro. 1	Näyte nro. 2	Näyte nro. 3	Näyte nro. 4	Näyte nro. 5	Näyte nro. 6	Ka
<b>Ekoteko</b>	0	0	0	5	0	4	1,5
<b>Ekoteko 40</b>	0	0	0	5	0	4	1,5
<b>Pihka</b>	2	2	2	3	5	3	2,8
<b>Pellava</b>	1	1	1	1	4	2	1,7
<b>Terva</b>	0	0	2	2	4	2	1,7
<b>Terva 40</b>	2	2	1	3	2	5	2,5

- 0 = Ei pintaan nousutta kyllästettä  
 1 = Kyllästettä lähes ollenkaan  
 2 = Kylläste nousut vähän pintaan  
 3 = Kylläste peittää 1/3  
 4 = Kylläste peittää 2/3  
 5 = Kylläste peittää kokonaan



Kyllästeen pintaan nousu johtuu puun lämmittämisestä, sillä sääkaapissa lämpötila nousi kuitenkin 60 °C:seen, jolloin kyllästeen viskositeetti aleni ja se alkoi valumaan puun huokosista pois. Kesällä, kun aurinko paistaa pilvettömältä taivaalta, niin materiaalin pintalämpötila voi nousta helposti 60 °C:seen, varsinkin tummien kappaleiden pintalämpötila.

## 8 Johtopäätökset

Insinööriyössä selvitettiin ympäristöystävällisten puunsuoja-aineiden kestävyyttä sääolosuhteissa, sekä upotuksessa että kosteudessa. Tulosten tarkoitus oli antaa tietoa, kuinka hyvin suoja-aineet antavat suojaa puulle.

Vesiupotuksessa veden imeytyminen oli vähäisintä kyllästeillä Pellava ja Ekoteko, joista Ekoteko oli ehkä vähän parempi kuin Pellava, sillä siinä oli vähiten halkeamia kuivumisen jälkeen. Vanhennettu puu imi eniten vettä.

Suurella ilmankosteudessa kaikki kyllästetyt ja vanhennetut puut ovat parempia, kuin käsittelemätön puu, mutta parhain vaihtoehto on Pellava-kyllästeellä käsitelty puu.

UV-rasitus aiheutti sävymuutoksia kaikkiin näytteisiin. Säärasitus aiheutti eniten halkeamia käsittelemättömiin ja vanhennettuihin koekappaleisiin, ja vähiten Ekoteko 40:ssä. Kyllästeen pintaan nousua esiintyi eniten Pihkassa ja Terva 40:ssä, vähiten oli Ekotekossa, Ekoteko 40:ssä ja Pellavassa.

Tulosten perusteella parhaimmat suoja-aineet olivat sekä Ekoteko että Pellava. Kaikki kyllästetyt koekappaleet olivat testien perusteella parempia, kuin käsittelemättömät. Ympäristöystävälliset kyllästeet ovat ainakin parempia, kuin ei kyllästetty ollenkaan sisältävät puut, sillä ne ainakin jossain määrin suojaavat kosteudelta. Hyvä olisi myös tehdä lahotuskoe paloille, jotta saataisiin lahonkestosta tietoa eri kyllästeille.

## Lähteet

- 1 Siikanen, Unto. 2016. Puurakentaminen. Rakennustieto Oy, Helsinki.
- 2 PuuProffa. 2004–2015. Pintakäsittely. Verkkoaineisto. Pro Puu ry.  
<[http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/7/pintakasittely/pintakasittely](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/pintakasittely/pintakasittely)> Luettu 22.3.2018.
- 3 Kosteusteknisiä ominaisuuksia. Verkkoaineisto. Puuinfo.  
<<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>> Luettu 22.3.2018.
- 4 Puun kosteuskäyttäytyminen. 2011. Verkkoaineisto. Puuinfo.  
<[https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/kysymyksia-ja-vastauksia/puun\\_kosteuskayttaytyminen\\_lattia.pdf](https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/kysymyksia-ja-vastauksia/puun_kosteuskayttaytyminen_lattia.pdf)> Luettu 22.3.2018.
- 5 Laitinen, Markus. 2008. Puun modifiointimenetelmät. Insinööriyö. Verkkoaineisto. Lahden Ammattikorkeakoulu.  
<<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11742/2008-04-30-02.pdf?sequence=1>> Luettu 10.2.2018.
- 6 Isomäki, Olavi. 2002. Puuteollisuus 2, raaka-aineet ja aihiot. Edita Prisma Oy, Helsinki 2002.
- 7 Piesala, Pirjo. 2011. Puun monet mahdollisuudet. Verkkoaineisto. Suomen Metsäyhdistys ry. <<https://frantic.s3.amazonaws.com/smy/2014/10/Puun-monet-mahdollisuudet-2011.pdf>> Luettu 8.2.2018.
- 8 US Department of Agriculture. 2010. Wood hand book, wood as an engineering material, Forest product laboratory. Verkkoaineisto.  
<[https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl\\_gtr190.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf)> Luettu 9.2.2018.
- 9 Paineekyllästetty puu, opas ammattilaisille. 2012. Verkkoaineisto. Kestopuuteollisuus Ry. <<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/paineekyllastetty-puu-opas-ammattilaisille/paineekyllastetty-puu-opas-ammattilaisille.pdf>>. 1.2.2012. Luettu 7.2.2012.
- 10 Kyllästetyn ja maalatun puutavaran jätehuolto. Verkkoaineisto. Tukes.  
<<http://www.tukes.fi/fi/Kuluttajille/Kemikaalit-kayttokohteittain/Kyllastetty-puu/Kyllastetyn-ja-maalatun-puutavaran-jatehuolto/>> Luettu 8.2.2018.
- 11 Kyllästetyn puun käytön rajoituksia. Verkkoaineisto. Tukes.  
<<http://www.tukes.fi/fi/Kuluttajille/Kemikaalit-kayttokohteittain/Kyllastetty-puu/Kyllastetyn-puun-kayton-rajoituksia/>> Luettu 6.2.2018.

- 12 Lahontorjuntayhdistys ry, 1988. Puunsuojaus. Hanko.
- 13 Pohjoismaiset puunsuojaluokat ja tuotevaatimukset kyllästetylle puulle. 2010. Verkkoaineisto. Pohjoismaiden puunsuojaneuvosto.  
<[http://www.kestopuu.fi/tiedostopankki/wa5\\_NTR1\\_Manty\\_suomenkielinen.pdf](http://www.kestopuu.fi/tiedostopankki/wa5_NTR1_Manty_suomenkielinen.pdf)> Luettu 23.3.2018.
- 14 Ominaisuuksien muuttaminen. Verkkoaineisto. Puuinfo.  
<<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/ominaisuuksien-muuttaminen>> Luettu 15.2.2018.
- 15 Parantunut lahonkesto. Verkkoaineisto. SWM Wood. <<http://www.swm-wood.com/fi/lampokasitely-puu/ominaisuudet/parantunut-lahonkesto/>> Luettu 15.2.2018.
- 16 Torniainen, Petteri. Puun lämpökäsittely. Verkkoaineisto.  
<<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010404.pdf>> Luettu 15.2.2018.
- 17 Lämpökäsittely puu. Verkkoaineisto. SWM Wood. <<http://www.swm-wood.com/fi/lampokasitely-puu/ominaisuudet/>> Luettu 15.2.2018.
- 18 Weathering testing guidebook. 2001. Atlas Electrick Devises Company. Verkkoaineisto. <<http://www.strenometer.dk/Files/Downloads/Guidebook.pdf>> Luettu 14.3.2018.
- 19 Q-Lab Corboration. 2017. A Comparison of Two Effective Approaches to Accelerated Weathering & Light Stability Testing. Verkkoaineisto. <<https://www.q-lab.com/documents/public/e9cd0ed7-86fa-4e1f-bed5-af90d81e53e3.pdf>> Luettu 14.3.2018.
- 20 SFS-EN 252. 2014. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. Helsinki. Rakennustuoteteollisuus RTT ry.
- 21 SFS-ENV 807. Wood preservatives. 2001. Determination of the effectiveness against soft rotting micro-fungi and other soil inhabiting micro-organisms. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
- 22 SFS-EN 113. Wood preservatives. 1997. Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidimycetes, determination of the toxic values. Helsinki. Rakennustuoteteollisuus RTT ry.
- 23 Harju, Anni & Pulkka, Susanna. 2015. Männyn sydänpuun uuteaineiden nopea mittaus. Verkkoaineisto.  
<<http://www.metla.fi/tapahtumat/2015/biokokkola/Harjupulkka.pdf>> Luettu 19.2.2018.

- 24 Bahmani, Mohsen; Melcher, Eckhard; Schmidt, Olaf & Fromm, Jörg. 2014. Wood Research and thecnology holzforschung.
- 25 Average humidity in Helsinki. 1010–1016. World weather and climate information. Verkkoaineisto. <<https://weather-and-climate.com/average-monthly-Humidity-perc,Helsinki,Finland.>> Luettu 1.3.2018.
- 26 Kärkkäinen, Matti. 1977. Puu, sen rakenne ja ominaisuudet. Espoo.
- 27 Exposure procedure for artificial Weathering. 2004. Verkkoaineisto. EOTA. <[file:///C:/Users/Tuija\\_000/Downloads/QUV-testiajan%20laskeminen.pdf](file:///C:/Users/Tuija_000/Downloads/QUV-testiajan%20laskeminen.pdf)> Luettu 14.3.2018.
- 28 CIE L\*, a\*, b\* Color Scale. 1996. Verkkoaineisto. HunterLAB. <<http://cobra.rdsor.ro/cursuri/cielab.pdf>> Luettu 18.4.2018.
- 29 Paineekyllästetyn kestopuun käyttöturvallisuusohje. 2011. Verkkoaineisto. Kestopuuteollisuus ry. <[https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/sahatavaran-jatkojalosteet/K%C3%A4ytt%C3%B6turvallisuusohje\\_Kestopuu.pdf](https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/sahatavaran-jatkojalosteet/K%C3%A4ytt%C3%B6turvallisuusohje_Kestopuu.pdf)> Luettu 18.4.2018.
- 30 Williams, Andy. 2002. Graybalance: A key element in color reproduction. Verkkoaineisto. The International Journal of Newspaper Technology. <[http://www.newsandtecharchives.com/issues/2002/02-02/ifra/02-02\\_greybalance.htm](http://www.newsandtecharchives.com/issues/2002/02-02/ifra/02-02_greybalance.htm)> Luettu 18.4.2018.
- 31 Kartta maailman online. 2015. Verkkoaineisto. Mapszoom. <<https://mapszoom.com/fi/gps-coordinates.php?town=Etel%C3%A4+florida>> Luettu 7.5.2018.

## Mittaustulokset upotustestistä

Taulukko 1 Upotuksessa olleiden koepalojen punnitut painot (g).

	Alkupaino	1 vrk	2 vrk	7 vrk	8 vrk	10 vrk	14 vrk
<b>Käsitlemätön</b>	175,4	230,24	241,4	271,76	274,1	280,8	291,6
	220,78	280,24	298,7	341,46	345,6	354,6	366,9
	188,62	236,32	249,2	283,58	285,6	292,5	303,1
<b>Vanhennettu</b>	203,7	289,7	303,9	328,64	329,4	338,8	350,4
	191,28	283,56	296,9	318,52	319,1	326,5	339,1
	204,82	281,12	296,1	326,88	327,9	334,7	347,5
<b>Ekoteko</b>	267,18	285,12	292,8	317,56	321,2	326,6	336,2
	297,14	315,52	323	345,22	348,3	353,9	363,9
	312,72	330,48	337,5	357,62	360,5	365,2	374,1
<b>Pihka</b>	275,28	292,22	301,1	327,04	330,5	336,3	344,9
	270,78	288,1	295,5	319	322,3	327,9	336,6
	260,72	279,14	288,9	314,76	318,1	323,4	332,2
<b>Pellava</b>	307,74	320,6	325,6	343,3	346,4	350,9	359,3
	292,64	308,26	314,7	336,62	339,9	345,4	354,8
	314,1	327,34	332,9	353,12	356,2	360,9	369,2
<b>Terva</b>	261	279,84	287,7	311,76	315,1	320,7	330
	252,32	273,56	282,4	311,46	315,4	322	332,9
	263,4	280,26	287,8	310,78	314	319,3	329,5

Taulukko 2 Upotustestin painon muutokset verrattuna alkupainoon (g).

	1 vrk	2 vrk	7 vrk	8 vrk	10 vrk	14 vrk
<b>Käsitlemätön</b>	54,00	68,18	104,00	106,81	114,38	125,59
<b>Vanhennettu</b>	84,86	99,04	124,75	125,53	133,40	145,70
<b>Ekoteko</b>	18,03	25,38	47,79	50,97	56,26	65,70
<b>Pihka</b>	17,56	26,21	51,34	54,71	60,27	68,97
<b>Pellava</b>	13,91	19,57	39,52	42,67	47,57	56,31
<b>Terva</b>	18,98	27,07	52,43	55,92	61,73	71,89

## Mittaustulokset kosteustestistä

Taulukko 1 Kosteustestissä olleiden koepalojen punnitut painot (g).

	Alkupaino	1 vrk	2 vrk	3 vrk	4 vrk	7 vrk
<b>Käsitlemätön</b>	204,04	208,92	212,04	213,68	215,16	217,72
	214,04	219,36	222,46	224,12	225,62	228,08
	201,04	206,36	209,42	211,06	212,48	214,7
<b>Vanhennettu</b>	209,26	212,66	214,76	215,88	216,9	218,74
	210,56	214,62	216,96	218,24	219,36	221,22
	207,34	211,5	213,86	215,08	216,2	218,02
<b>Ekoteko</b>	247,58	250,28	252,58	253,9	255,22	257,88
	320,88	322,66	324,44	325,64	326,82	329,46
	320,56	323,3	325,26	326,5	327,82	330,68
<b>Pihka</b>	273,9	275,8	277,36	278,36	279,4	281,76
	271,76	271,02	273,08	274,36	275,66	277,98
	282,92	284,58	285,72	286,46	287,28	289,16
<b>Pihka 2</b>	250,4	253,36	255,84	257,18	258,28	259,96
	252,6	255,72	258,08	259,44	260,86	263,42
	251,72	255,3	257,84	259,38	260,48	263,48
<b>Pellava</b>	310,08	311,4	312,42	313,06	313,76	315,42
	273,48	274,2	276,02	277,2	278,42	281,08
	306,64	307,76	308,88	309,1	309,64	310,86
<b>Terva</b>	286,7	288,86	290,78	291,98	293,24	295,9
	253,06	255,96	258,26	259,68	261,06	263,68
	280,54	282,52	283,98	284,94	285,9	287,98
<b>Terva 2</b>	251,42	254,14	256,42	257,76	259,02	261,26
	273,6	277,12	279,58	281,08	282,54	285,16
	288,12	290,12	291,78	292,88	294	296,48
<b>Mänty</b>	280,78	283,48	285,32	286,52	287,72	290,44
	264,8	267,08	268,78	269,88	271,08	273,74
	274,64	276,44	277,66	278,48	279,36	281,52
<b>Mänty 2</b>	273,54	275,64	277,88	279,26	280,56	283
	311,36	312,52	313,04	314,7	315,6	317,56
	256,64	258,38	260,6	261,94	263,2	265,4

Taulukko 2 Kosteustestin painon muutokset verrattuna alkupainoon (g).

	1 vrk	2 vrk	3 vrk	4 vrk	7 vrk
<b>Käsitlemätön</b>	5,17	8,27	9,91	11,38	13,79
<b>Vanhennettu</b>	3,87	6,14	7,35	8,43	10,27
<b>Ekoteko</b>	2,41	4,42	5,67	6,95	9,67
<b>Pihka</b>	0,94	2,53	3,53	4,59	6,77
<b>Pihka 2</b>	3,22	5,68	7,09	8,30	10,71
<b>Pellava</b>	1,05	2,37	3,05	3,87	5,72
<b>Terva</b>	2,35	4,24	5,43	6,63	9,09
<b>Terva 2</b>	2,75	4,88	6,19	7,47	9,92
<b>Mänty</b>	2,26	3,85	4,89	5,98	8,49
<b>Mänty 2</b>	1,67	3,33	4,79	5,94	8,14

## Värisävymuutokset säärasituksen vaikutuksesta

Taulukko 1 Koekappaleiden värisävyn muutokset säärasituksen vaikutuksesta.

Käsitlemätön	L	a	b	Kappale	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
R	80,4 6	3,36	21,4 7	1	68,6 7	10,9 7	25,2 6	- 11,79	7,61	3,79	14,5 4
R	80,4 6	3,36	21,4 7	2	69,2 5	10,7 7	24,2 1	- 11,21	7,41	2,74	13,7 1
R	80,4 6	3,36	21,4 7	3	67,6 8	9,13	23,1 8	- 12,78	5,77	1,71	14,1 3
R	80,4 6	3,36	21,4 7	4	68,9 4	9,59	23,5 3	- 11,52	6,23	2,06	13,2 6
R	80,4 6	3,36	21,4 7	5	70,8 3	8,75	22,5 3	-9,63	5,39	1,06	11,0 9
R	80,4 6	3,36	21,4 7	6	66,0 7	11,1 6	29,2 3	- 14,39	7,8	7,76	18,1 1
Ka	80,4 6	3,36	21,4 7		68,5 7	10,0 6	24,6 6	- 11,89	6,70	3,19	14,0 1
Vanhennettu	L	a	b	Kappale	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
R	70,9 1	7,33	24,0 8	1	64,9 2	10,1 7	24,6 4	-5,99	2,84	0,56	6,65
R	70,9 1	7,33	24,0 8	2	62,7 5	11,5 4	25,2 9	-8,16	4,21	1,21	9,26
R	70,9 1	7,33	24,0 8	3	60,4 6	12,6 9	26,7 1	- 10,45	5,36	2,63	12,0 4
R	70,9 1	7,33	24,0 8	4	63,9 2	10,0 8	26,7 8	-6,99	2,75	2,7	7,98
R	70,9 1	7,33	24,0 8	5	60,6 9	13,5 2	33,9 5	- 10,22	6,19	9,87	15,5 0
R	70,9 1	7,33	24,0 8	6	58,7 7	12,5 8	21,5 6	- 12,14	5,25	-2,52	13,4 6
Ka	70,9 1	7,33	24,0 8		61,9 2	11,7 6	26,4 9	-8,99	4,43	2,41	10,3 1
Ekoteko	L	a	b	Kappale	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
R	71,5 2	11,9	37,5 3	1	59,2	16,2 9	34,0 5	- 12,32	4,39	-3,48	13,5 3
R	71,5 2	11,9	37,5 3	2	53,8	17,8 7	36,1 3	- 17,72	5,97	-1,4	18,7 5
R	71,5 2	11,9	37,5 3	3	62,0 3	14,8 9	33,3	-9,49	2,99	-4,23	10,8 1
R	71,5 2	11,9	37,5 3	4	51,4 7	19,1 6	45,6 9	- 20,05	7,26	8,16	22,8 3
R	71,5 2	11,9	37,5 3	5	57,7 5	17,4 5	41,2 3	- 13,77	5,55	3,7	15,3 0
R	71,5 2	11,9	37,5 3	6	50,7 8	20,7 9	44,7 7	- 20,74	8,89	7,24	23,7 0



<b>Ka</b>	71,5 2	11,9	37,5 3		55,8 4	17,7 4	39,2 0	- 15,68	5,84	1,67	16,8 2
<b>Ekoteko 40</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>Kap- pale</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>ΔL</b>	<b>Δa</b>	<b>Δb</b>	<b>ΔE</b>
<b>R</b>	60,2 7	13,0 9	32,9 3	1	44,1	20,3 2	35,1 3	- 16,17	7,23	2,2	17,8 5
<b>R</b>	60,2 7	13,0 9	32,9 3	2	52,7 6	16,1 6	29,8 7	-7,51	3,07	-3,06	8,67
<b>R</b>	60,2 7	13,0 9	32,9 3	3	47,6 8	19,7	35,4 3	- 12,59	6,61	2,5	14,4 4
<b>R</b>	60,2 7	13,0 9	32,9 3	4	49,1	19,2 2	37,4 2	- 11,17	6,13	4,49	13,5 1
<b>R</b>	60,2 7	13,0 9	32,9 3	5	48,7 9	19,1 7	37,2 7	- 11,48	6,08	4,34	13,7 0
<b>R</b>	60,2 7	13,0 9	32,9 3	6	51,6 1	18,4 1	43,7 6	-8,67	5,32	10,83	14,8 6
<b>Ka</b>	60,2 7	13,0 9	32,9 3		49,0 1	18,8 3	36,4 8	- 11,27	5,74	3,55	13,1 3
<b>Pihka</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>Kap- pale</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>ΔL</b>	<b>Δa</b>	<b>Δb</b>	<b>ΔE</b>
<b>R</b>	42,9 8	18,2 7	22,9 2	1	42,3 7	20,1 6	25,7 2	-0,61	1,89	2,8	3,43
<b>R</b>	42,9 8	18,2 7	22,9 2	2	41,9 7	21,2 9	31,1 5	-1,01	3,02	8,23	8,82
<b>R</b>	42,9 8	18,2 7	22,9 2	3	48,3 2	19,7 4	36,3 1	5,34	1,47	13,39	14,4 9
<b>R</b>	42,9 8	18,2 7	22,9 2	4	45,0 7	18,5 2	33,1 9	2,09	0,25	10,27	10,4 8
<b>R</b>	42,9 8	18,2 7	22,9 2	5	44,1 1	20,6 1	36,8 6	1,13	2,34	13,94	14,1 8
<b>R</b>	42,9 8	18,2 7	22,9 2	6	42,8	18,3	26,4 8	-0,18	0,03	3,56	3,56
<b>Ka</b>	42,9 8	18,2 7	22,9 2		44,1 1	19,7 7	31,6 2	1,13	1,50	8,70	8,90
<b>Pellava</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>Kap- pale</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>ΔL</b>	<b>Δa</b>	<b>Δb</b>	<b>ΔE</b>
<b>R</b>	60,3 6	18,3 5	41	1	45,4 9	20,2 5	23,6 4	- 14,87	1,9	-17,4	22,9 4
<b>R</b>	60,3 6	18,3 5	41	2	50,3 5	22,5 6	30,7 1	- 10,01	4,21	-10,3	14,9 6
<b>R</b>	60,3 6	18,3 5	41	3	50,5 5	21,2 5	31,0 1	-9,81	2,9	-9,99	14,3 0
<b>R</b>	60,3 6	18,3 5	41	4	48,1 9	22,1 8	30,8 3	- 12,17	3,83	-10,2	16,3 2
<b>R</b>	60,3 6	18,3 5	41	5	46,5 9	23,2 6	40,5 8	- 13,77	4,91	-0,42	14,6 3
<b>R</b>	60,3 6	18,3 5	41	6	41,6 9	16,5 9	19,3 1	- 18,67	1,76	-21,7	28,6 7
<b>Ka</b>	60,3 6	18,3 5	41		47,1 4	21,0 2	29,3 5	- 13,22	2,66 5	- 11,65	17,8 2

Terva	L	a	b	Kap- pale	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
R	33,4 4	10,1	12,9 3	1	29,9 4	14,3 1	14,8 4	-3,5	4,21	1,91	5,80
R	33,4 4	10,1	12,9 3	2	36,8 1	14,8 2	19,6	3,37	4,72	6,67	8,84
R	33,4 4	10,1	12,9 3	3	32,5 2	14,5 3	19,7 3	-0,92	4,43	6,8	8,17
R	33,4 4	10,1	12,9 3	4	30,8 7	10,8 1	10,6	-2,57	0,7	-2,32	3,53
R	33,4 4	10,1	12,9 3	5	26,6 8	5,2	5,53	-6,76	-4,9	-7,4	11,1 6
R	33,4 4	10,1	12,9 3	6	35,1 9	13,9 4	16,4	1,75	3,84	3,47	5,46
Ka	33,4 4	10,1	12,9 3		32,0 0	12,2 7	14,4 5	-1,44	2,17	1,52	3,01
Terva 40	L	a	b	Kap- pale	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
R	33,3 4	14,5 4	13	1	30,8 8	11,6	13,1 1	-2,46	- 2,94	0,11	3,84
R	33,3 4	14,5 4	13	2	33,1 5	13,3 6	15,8 6	-0,19	- 1,18	2,86	3,10
R	33,3 4	14,5 4	13	3	25,3	3,83	3,28	-8,04	- 10,7	-9,72	16,5 5
R	33,3 4	14,5 4	13	4	36,1 2	13,6 9	19,3	2,78	- 0,85	6,3	6,94
R	33,3 4	14,5 4	13	5	28,9	7,68	6,61	-4,44	- 6,86	-6,39	10,3 7
R	33,3 4	14,5 4	13	6	21,9 8	10,5 9	9,32	- 11,36	- 3,95	-3,68	12,5 8
Ka	33,3 4	14,5 4	13		29,3 9	10,1 3	11,2 5	-3,95	- 4,42	-1,75	6,18

Taulukko 2 Koekappaleiden keskiarvoolliset värisävyn muutokset säärasituksen vaikutuksesta.

Kylläste	$\Delta E$
Käsitlemätön	14,01
Vanhennettu	10,31
Ekoteko	16,82
Ekoteko 40	13,13
Pihka	8,9
Pellava	17,82
Terva	3,01
Terva 40	6,18

Taulukko 3  $\Delta L$ -parametrit, joka kyllästeen kappaleesta.

Kylläste	Kappale	$\Delta L$	Kylläste	Kappale	$\Delta L$
<b>Käsitlemätön</b>	1	-11,79	<b>Pihka</b>	1	-0,61
	2	-11,21		2	-1,01
	3	-12,78		3	5,34
	4	-11,52		4	2,09
	5	-9,63		5	1,13
	6	-14,39		6	-0,18
<b>Vanhennettu</b>	1	-5,99	<b>Pellava</b>	1	-14,87
	2	-8,16		2	-10,01
	3	-10,45		3	-9,81
	4	-6,99		4	-12,17
	5	-10,22		5	-13,77
	6	-12,14		6	-18,67
<b>Ekoteko</b>	1	-12,32	<b>Terva</b>	1	-3,5
	2	-17,72		2	3,37
	3	-9,49		3	-0,92
	4	-20,05		4	-2,57
	5	-13,77		5	-6,76
	6	-20,74		6	1,75
<b>Ekoteko 40</b>	1	-16,17	<b>Terva 40</b>	1	-2,46
	2	-7,51		2	-0,19
	3	-12,59		3	-8,04
	4	-11,17		4	2,78
	5	-11,48		5	-4,44
	6	-8,67		6	-11,36

**Kuvat koepaloista referenssin vieressä, sekä ennen säärasitusta ja sen jälkeen.**



**Kuva 1** Käsittelemätön, referenssipala vasemmalla, oikealla koekappaleet UV-rasituksen jälkeen.



**Kuva 2** Terva, referenssipala vasemmalla, oikealla koekappaleet UV-rasituksen jälkeen.



Kuva 3 Ekoteko, referenssipala vasemmalla, oikealla koekappaleet UV-rasituksen jälkeen.



Kuva 4 Terva 40, referenssipala vasemmalla, oikealla koekappaleet UV-rasituksen jälkeen.



Kuva 5 Pihka, referenssipala vasemmalla, oikealla koekappaleet UV-rasituksen jälkeen.



Kuva 6 Pellava, referenssipala vasemmalla, oikealla koekappaleet UV-rasituksen jälkeen.





Kuva 7 Ekoteko 40, referenssipala vasemmalla, oikealla koekappaleet UV-rasituksen jälkeen.



Kuva 8 Vanhennettu, referenssipala vasemmalla, oikealla koekappaleet UV-rasituksen jälkeen.

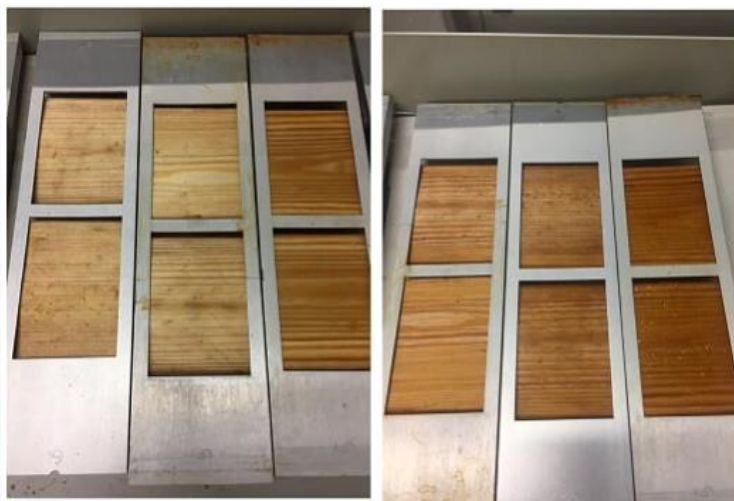


Kuva 9 Käsittelemätön, vasemmalla ennen UV-rasitusta ja oikealla UV-rasituksen jälkeen.

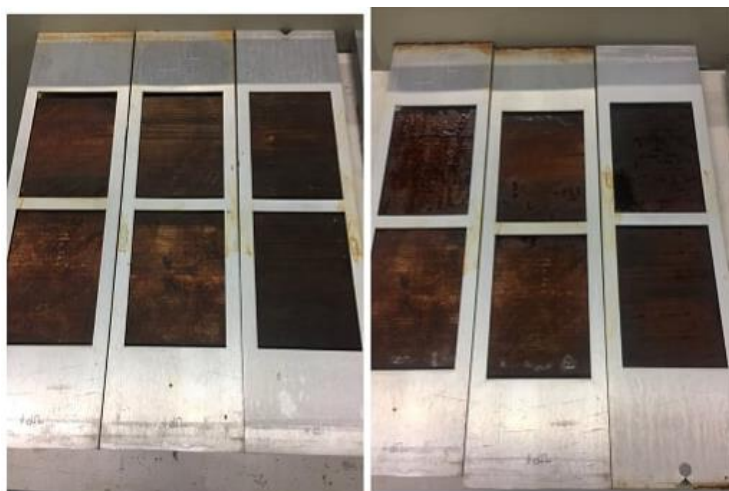


Kuva 10 Terva, vasemmalla ennen UV-rasitusta ja oikealla UV-rasituksen jälkeen.





Kuva 11 Ekoteko, vasemmalla ennen UV-rasitusta ja oikealla UV-rasituksen jälkeen.



Kuva 12 Terva 40, vasemmalla ennen UV-rasitusta ja oikealla UV-rasituksen jälkeen.



Kuva 13 Pihka, vasemmalla ennen UV-rasitusta ja oikealla UV-rasituksen jälkeen.



Kuva 14 Pellava, vasemmalla ennen UV-rasitusta ja oikealla UV-rasituksen jälkeen.

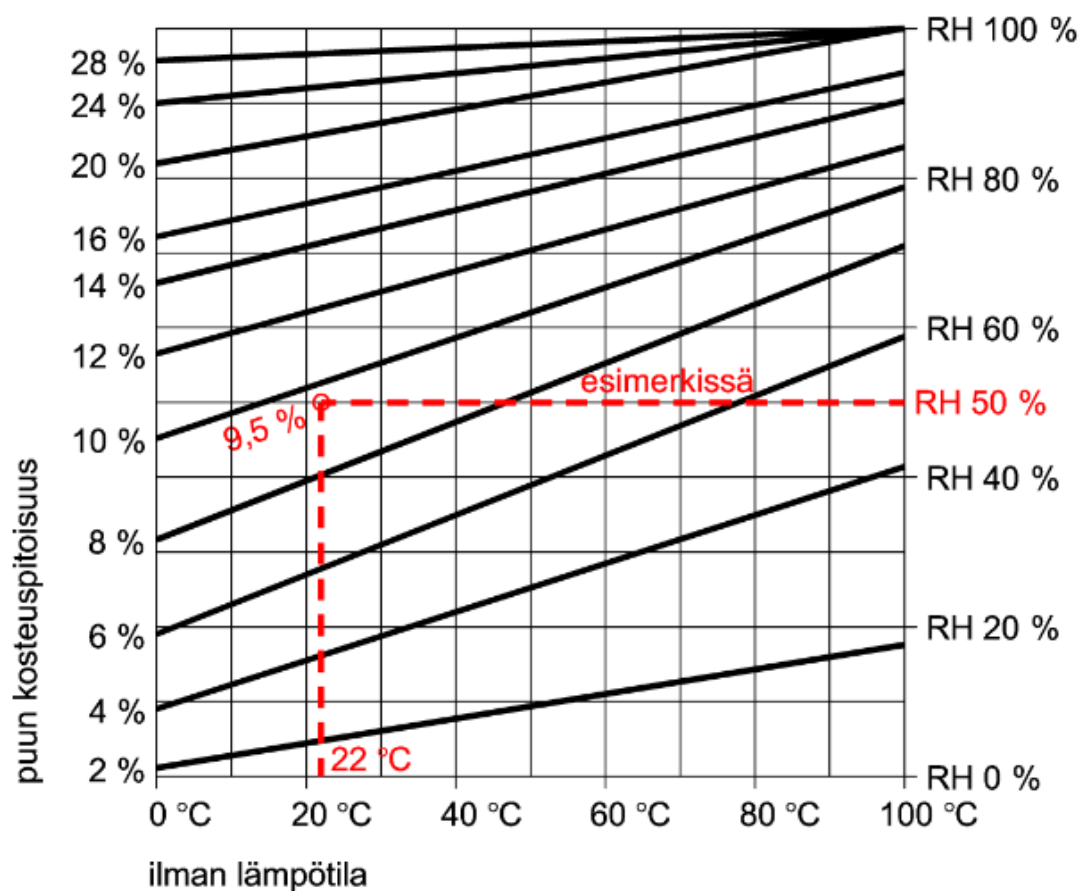


Kuva 15 Vanhennettu, vasemmalla ennen UV-rasitusta ja oikealla UV-rasituksen jälkeen.



Kuva 16 Ekoteko 40, vasemmalla ennen UV-rasitusta ja oikealla UV-rasituksen jälkeen.

## Puutavaran kosteuspitoisuus



Kuva 1 Puutavaran kosteuspitoisuuden riippuvuus lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta.

**Esimerkki kuvan soveltamisesta**  
(punainen katkoviiva)

**Lähtötiedot:**

- sisäilman lämpötila + 22 C
- sisäilman suhteellinen kosteus RH 50 %

Taulukosta nähdään, että puun kosteuspitoisuus on lähtötietojen mukaisessa tapauksessa noin 9,5 %.

Kuva

2

Esimerkki

kuvan

soveltamisesta

## Halkeilujen arviointi SFS-EN ISO 4628-4

Taulukko 1 Luokitusasteikko halkeamien määrän merkitsemiseksi

Luokitus	Virheiden määrä
0	ei mitään, ts. ei havaittavia halkeamia
1	hyvin harvoja, ts. pieni, tuskin merkittävä määrä halkeamia
2	harvoja, ts. pieni mutta merkittävä määrä halkeamia
3	kohtalainen määrä halkeamia
4	merkittävä määrä halkeamia
5	tiheä halkeilukuvio

Taulukko 2 Luokitusasteikko halkeamien koon merkitsemiseksi

Luokitus	Halkeaman kokoa
0	ei havaittavissa 10 × suurennuksella
1	havaittavissa ainoastaan 10 × tai sitä pienemmillä suurennuksilla
2	juuri ja juuri havaittavissa paljain silmin (0,2 mm saakka) <sup>a</sup>
3	selvästi havaittavissa paljain silmin (suurempi kuin 0,2 mm ja 0,5 mm:iin saakka)
4	suuria halkeamia, leveys suurempi kuin 0,5 mm ja 1 mm:iin saakka
5	erittäin suuria halkeamia. leveys yleensä suurempi kuin 1 mm

<sup>a</sup> Tyypillisesti halkeamat, jotka ovat suurempia kuin 0,2 mm, ovat havaittavissa paljain silmin.